

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA POR COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS NO BRASIL

Gustavo Rabello de Castro
Matrícula nº: 108084342
grdcastro@hotmail.com

ORIENTADOR: Edmar Almeida
edmar@ie.ufrj.br
COORIENTADOR: Luciano Losekann
losekann@ie.ufrj.br

JANEIRO 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA POR COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS NO BRASIL

Gustavo Rabello de Castro
Matrícula nº: 108084342
grdcastro@hotmail.com

ORIENTADOR: Edmar Almeida
edmar@ie.ufrj.br
COORIENTADOR: Luciano Losekann
losekann@ie.ufrj.br

JANEIRO 2012

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do autor

RESUMO

A introdução e o desenvolvimento da tecnologia do carro flex (bicombustível) no mercado nacional, a partir de 2003, modificou significativamente a dinâmica do mercado de combustíveis no Brasil. Atualmente, os proprietários desses veículos escolhem o combustível a utilizar conforme a relação de preços da gasolina em relação ao etanol. A importância dessa escolha vai se acentuando na medida em que se atingiu a marca de 95% dos carros vendidos no Brasil com tecnologia flex, e pelo fato de que o etanol já representa 35% do consumo de combustíveis em automóveis leves. Assim, esta pesquisa busca analisar os fatores que influenciam a dinâmica do consumo de etanol no Brasil. O objetivo geral é analisar o comportamento da demanda de etanol e gasolina após a inserção do carro *flex*. Com essa nova constituição da frota de veículos, tanto o consumo de etanol quanto o de gasolina se tornam muito mais elásticos a variações no preço relativo entre os dois combustíveis. Dessa forma, o objetivo específico da monografia é desenvolver uma ferramenta útil na análise e na previsão da demanda por etanol e gasolina. Para tanto estuda-se não somente a relação de substituição entre os dois combustíveis, mas também os fatores que determinam a demanda conjunta por esses dois combustíveis. Tendo como base uma estimativa da frota de veículos leves por tipo de combustível, constata-se que, em 2011, a frota flex havia ultrapassado a frota a gasolina, representando 46% e 44% do mercado, respectivamente. De modo a compreender a evolução da frota, estima-se um modelo de demanda por automóveis em função da renda. A frota, por seu turno, é determinante do consumo de combustível em um segundo modelo econométrico estimado. Neste, evidenciou-se a forte sazonalidade do consumo dos combustíveis, além da notável tendência de queda do consumo médio da frota. Por fim, estuda-se a relação entre o consumo de etanol e gasolina em função do preço relativo entre esses dois combustíveis, revelando a menor aceitação do etanol possivelmente em face da sua maior volatilidade de preço.

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
INTRODUÇÃO	6
CAPÍTULO I - O MODELO BÁSICO DE DEMANDA POR ETANOL E GASOLINA.....	9
1.1- ETANOL E GASOLINA COMO BENS SUBSTITUTOS.....	9
1.2- CONDICIONANTES DA DEMANDA POR ETANOL E GASOLINA	12
1.3- A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO CONSUMO DE ETANOL E GASOLINA NO BRASIL	16
CAPITULO II - ESPECIFICAÇÃO DOS MODELOS E BASE DE DADOS	20
2.1- FORMA FUNCIONAL E IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS	20
a) Modelagem da frota.....	20
b) Modelagem do consumo de combustíveis.....	21
Fonte: LOSEKANN, CASTRO, 2011	22
c) Modelo de substituição	22
2.2- BASE DE DADOS	22
2.3- ESPECIFICAÇÃO E MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS DOS MODELOS.....	24
a) Frota de veículos	24
b) Preço do automóvel	27
c) Renda e crédito	29
d) Preço dos combustíveis	32
e) Consumo de combustíveis automotivos	35
CAPITULO III – RESULTADO DAS ESTIMAÇÕES.....	37
3.1- MODELO DE DEMANDA POR AUTOMÓVEIS.....	37
3.2- MODELO DE DEMANDA POR COMBUSTÍVEIS	43
3.3- MODELO DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE ETANOL E GASOLINA	47
3.4- PROJEÇÕES DA DEMANDA POR COMBUSTÍVEIS	50
CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXO.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da modelagem.....	14
Figura 2: Consumo dado pela frota.....	15
Figura 3: Consumo efetivo e consumo potencial	16
Figura 4: Principais regiões produtoras de etanol.....	17
Figura 5: Variação espacial do preço relativo (etanol/Gasolina)	18
Figura 6: Mudança de preço relativo etanol/gasolina em função da distância percorrida.....	19
Figura 7: Modelagem do consumo total de combustíveis.....	22
Tabela 1: Base de dados	23
Tabela 2: Curvas de sucateamento estimadas	25
Figura 8: Curvas de sucateamento	26

Tabela 3: Estimativas de frota de automóveis em 2010.....	26
Tabela 4: Frota por combustíveis e tipo de veículo em 2010.....	27
Figura 9: Metodologia de estimação da frota de veículos por combustível.....	27
Figura 10: Índice de preço de veículos novos	29
Figura 11: Modalidade de pagamento na venda de veículos e comerciais leves	30
Figura 8: Renda real habitual (R\$)	32
Figura 9: Preço relativo etanol/gasolina por estado (em julho de 2010)	33
Figura 14: Preço relativo etanol/gasolina no tempo (ano de 2009/2010)	33
Figura 10: Índice de preço de combustível (etanol e gasolina)	34
Figura 11: Venda de etanol e gasolina por estado (em julho de 2010).....	35
Figura 12: Consumo de etanol e gasolina em 2009/10	36
Tabela 5: Elasticidades da demanda por automóveis	41
Tabela 6: Distribuição da frota de veículos e elasticidade da posse de automóveis por faixa de renda.....	42
Tabela 7: Resultados dos modelos de demanda por automóveis.....	42
Figura 13: Resíduo	45
Tabela 8: Resultados dos modelos de demanda por combustíveis	47
Figura 14: Razão consumo efetivo e potencial de etanol da frota flex (CE/CP) e preço relativo do etanol (PE/PG).....	48
Figura 15: Função logística estimada	49
Figure 16: Previsão de demanda por combustíveis (metros cúbicos).....	51
Figure 17: Consumo de etanol e gasolina por parte dos veículos flex (preço relativo 0,7)	52
Figure 18: Consumo de etano e gasolina por parte dos veículos flex (preço relativo 0,8)	52
Figura 19: Correlograma venda de combustíveis	61
Figura 20: Correlograma da frota	61
Figura 21: Correlograma preço dos combustíveis	62
Figure 22: Resíduos	64
Figura 23: Resíduos modelo 2.2	66
Figura 24: Resíduos modelo 2.3	67
Figura 25: Resíduos modelo 3.2	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Base de dados.....	23
Tabela 2: Curvas de sucateamento estimadas	25
Tabela 3: Estimativas de frota de automóveis em 2010.....	26
Tabela 4: Frota por combustíveis e tipo de veículo em 2010.....	27
Tabela 5: Elasticidades da demanda por automóveis	41
Tabela 6: Distribuição da frota de veículos e elasticidade da posse de automóveis por faixa de renda.....	42
Tabela 7: Resultados dos modelos de demanda por automóveis.....	42
Tabela 8: Resultados dos modelos de demanda por combustíveis	47

INTRODUÇÃO

A introdução e o desenvolvimento da tecnologia do carro flex (bicomcombustível) no mercado nacional, a partir de 2003, modificou significativamente a dinâmica do mercado de combustíveis no Brasil. Atualmente, os proprietários desses veículos escolhem o combustível a utilizar conforme a relação de preços da gasolina em relação ao etanol. A importância dessa escolha é vai se acentuando à medida em que se atingiu a marca de 95% dos carros vendidos no Brasil com tecnologia flex, e pelo fato de que o etanol já representa 35% do consumo de combustíveis em automóveis leves. Dado essa nova constituição da frota, tanto o consumo de etanol quanto o de gasolina se tornam muito mais elásticos a variações no preço relativo entre os dois combustíveis.

Além das questões relacionadas à frota, temos também uma diversidade acentuada de consumo do etanol, bem como particularidades técnicas relacionadas à sua produção, que implicam na necessidade de uma abordagem que consiga estudar a relação do consumo de etanol e de gasolina em diferentes níveis de preço relativo. De fato, devido ao custo de transporte, à concentração da produção em determinadas regiões do país, e à ausência de uma regulação específica de preço para o etanol, observa-se uma variabilidade do preço desse combustível não somente no tempo (períodos de safra e entre safra) como no espaço (de acordo com a distância aos centros produtores).

O foco deste trabalho é estudar a dinâmica da demanda de combustíveis automotivos, com ênfase no processo de substituição entre o etanol e a gasolina. O setor de transporte é o que mais consome derivados do petróleo e a emergência de novos combustíveis (no caso, o etanol) quebra a hegemonia dos combustíveis fósseis. Além disso, a volatilidade do consumo de etanol e gasolina, decorrente de flutuações de preço, tem implicações sobre o desenvolvimento da logística dos dois combustíveis. Isso ficou claro no início do ano de 2011, com a disparada dos preços do etanol e a necessidade de recorrer à importação de combustíveis para evitar desabastecimento. Como o ajuste de oferta e demanda de etanol se dá via preço, esse desafio torna-se mais relevante para função de abastecimento de gasolina.

Nesse contexto, busca-se analisar o comportamento da demanda de etanol e gasolina após a inserção do carro *flex*. A partir dessa nova constituição da frota, o consumo tanto de etanol quanto de gasolina se tornam muito mais elásticos a variações no preço relativo entre os dois combustíveis. Os consumidores, por sua vez, reagem de forma racional, respondendo aos incentivos de preço.

A metodologia a ser utilizada neste trabalho requer, primeiramente, uma revisão bibliográfica teórica sobre bens substitutos e sobre o equilíbrio espacial de preços. Ademais, revisitam-se estudos empíricos sobre a estimação da frota brasileira de veículos leves, assim como modelos sobre o consumo de combustíveis no país.

A segunda parte do trabalho visa desenvolver um modelo de estimação da frota brasileira de veículos. Como há evidências de que os dados oficiais sobre a frota brasileira de automóveis são superestimados, é necessário estimar a frota efetiva com base nos dados de venda de veículos divulgados pela Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e com base em uma curva de sucateamento da frota. No caso em tela, os dados mais recentes sobre a idade da frota que nos permitem estimar tal curva são oriundos da Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílio (PNAD) de 1988.

O passo seguinte é estimar o consumo de combustível respectivo de cada segmento da frota (frota *flex*, frota a gasolina e frota a álcool). De fato, cada segmento da frota tem dinâmica própria em relação à variação do preço relativo etanol/gasolina: com efeito, os segmentos da frota movidos a gasolina e a álcool não têm possibilidade de substituição entre combustíveis como tem a frota *flex*.

Obtido o consumo de gasolina e etanol atribuído à frota *flex*, pode-se estimar um modelo logístico que relacione o consumo desses combustíveis com a variação do preço relativo. A vantagem da utilização de uma curva logística é que ela permite estimar elasticidades diferentes para cada nível de preço relativo. Ou seja, no caso do etanol e da gasolina, como o poder calorífico do primeiro é aproximadamente 30% menor que a do segundo, é esperado que os consumidores sejam mais sensíveis a variações no preço relativo etanol/gasolina quando este se situa na faixa de 0,7. Nos casos extremos, quando um combustível é muito mais vantajoso que o outro o consumidor será bem menos sensível a variações do preço relativo.

O estudo é dividido em três capítulos. No primeiro capítulo, introduz-se o modelo básico de demanda por etanol e gasolina, quando são analisadas as características desses produtos, os possíveis condicionantes das suas demandas, assim como um breve panorama sobre as condições geográficas do consumo desses combustíveis. O segundo capítulo apresenta as especificações dos modelos desenvolvidos e a base de dados utilizada. Por fim, no terceiro capítulo, são apresentados os resultados referentes às estimações dos modelos.

CAPÍTULO I - O MODELO BÁSICO DE DEMANDA POR ETANOL E GASOLINA

O objetivo deste capítulo é apresentar o desenvolvimento do modelo de demanda por combustíveis automotivos. Mais especificamente, busca-se determinar como se dá o processo de escolha entre o etanol e a gasolina. Para isso, analisam-se, primeiramente, as hipóteses sobre o comportamento do consumidor. Em seguida, são apresentadas as principais variáveis que condicionam esse consumo. Por fim, se discute a dispersão regional observada no consumo de etanol e gasolina.

1.1- Etanol e gasolina como bens substitutos

Na teoria econômica do consumidor, os consumidores escolhem a melhor cesta de bens que podem adquirir. No contexto deste trabalho deseja-se estudar como os consumidores que possuem automóveis flexíveis alocam sua renda entre dois tipos de combustíveis: etanol e gasolina; e, a partir dessas decisões de alocação de recursos, determinar a demanda por esses combustíveis.

Segundo a teoria microeconômica, os consumidores escolhem a “melhor cesta” de bens que “podem adquirir”. A segunda parte, “poder adquirir”, corresponde à restrição orçamentária. O conjunto orçamentário consiste em todas as cestas de bens que o consumidor pode adquirir em determinados níveis de preço e de renda (VARIAN, 2006). De fato, os consumidores têm uma renda limitada, o que restringe a quantidade de mercadorias que podem adquirir. Supondo então, somente dois bens, etanol e gasolina, o consumidor gastará toda sua renda em uma cesta de consumo que combine (dado certo nível de preço) as quantidades desses dois bens.

Os conceitos econômicos de preferência e de utilidade servem para definir a “melhor cesta”. O comportamento do consumidor pode ser moldado por três premissas básicas: integralidade, ou seja, as preferências são completas, i.e., os consumidores podem comparar e ordenar todas as cestas possíveis; as preferências são transitivas, se um consumidor prefere a

cesta A a B e prefere B a C, então ele também prefere A a C; e não saciedade, os consumidores sempre preferem quantidades maiores de cada mercadoria (PINDYCK, RUBINFELD, 2006).

“Uma curva de indiferença representa todas as combinações de cestas de mercado que fornecem o mesmo nível de satisfação a um consumidor” (PINDYCK, RUBINFELD, 2006, p.58). A taxa marginal de substituição mede a inclinação ao longo da curva de indiferença, i.e., ela mede o valor que um indivíduo atribui a uma unidade extra de um bem em termos de unidades do outro. As curvas de indiferença podem ser usadas para descrever diferentes tipos de preferências.

No caso do etanol e da gasolina, espera-se que o consumidor seja indiferente em relação a trafegar com qualquer um dos dois combustíveis. Embora possam haver outros elementos que influenciem na escolha do combustível como autonomia e aspectos ambientais não se espera que esses fatores sejam determinantes. Sendo assim podemos classificar essas duas mercadorias como substitutos perfeitos. Nesse caso a taxa marginal de substituição de um bem pelo outro é constante. As curvas de indiferença que descrevem a substituição entre as mercadorias são representadas como linhas retas.

Uma forma de medir a equivalência entre fontes energéticas é através do poder calorífico, que é a quantidade de calor liberada por certa quantidade de combustível (QUEIROZ, 2007, p.10). Como o poder calorífico¹ contido em um litro de etanol equivale ao poder calorífico contido em 0,7 litros de gasolina, pode-se estimar que a taxa marginal de substituição de gasolina por etanol será de 0,7.

Antes de se analisar o processo de escolha é necessário definir o conceito de utilidade. Este é simplesmente uma forma de descrever as preferências, ou seja, constitui em atribuir valores numéricos para os níveis de satisfação associados a cada curva de indiferença. Se a preferência é completa, transitiva e continua então existe uma função de utilidade U que representa essa preferência. No caso de bens substitutos essa função pode ser representada por:

$$U(X_1, X_2) = \alpha X_1 + \beta X_2$$

¹ O álcool hidratado possui 5.097 kcal/l e a gasolina tipo A, 7.696 kcal/l sendo que nesta ainda acrescenta-se o álcool anidro que possui 5.339 kcal/l.

onde:

α, β = constantes positivas

X_1 = consumo do bem 1

X_2 = consumo do bem 2

No caso do etanol e da gasolina, como o a gasolina é 30% mais eficiente temos:

$$U(X_1, X_2) = X_1 + 0,7X_2$$

onde:

X_1 = consumo de etanol

X_2 = consumo de gasolina

Dada a restrição orçamentária e as preferências, pode-se determinar como os consumidores escolhem a sua cesta. Sendo os consumidores racionais, eles decidem a quantidade de cada bem visando maximizar sua satisfação. No caso de bens substitutos, o consumidor escolherá unicamente um dos dois bens, em função do preço relativo. Sendo:

$$TMS = \alpha/\beta = p_1/p_2$$

onde,

TMS = taxa marginal de substituição

p_1 = preço do bem 1

p_2 = preço do bem 2

Caso $p_1/p_2 > \alpha/\beta$ teremos uma solução de canto, i.e., o consumidor irá consumir unicamente o bem 2. Da mesma forma, se $p_1/p_2 < \alpha/\beta$ o consumidor consumir somente do bem 1.

Na teoria, se a cesta A fosse preferida a cesta B então a utilidade de A seria maior que a utilidade de B ($U(A) > U(B)$). Porém, no mundo real, nem sempre a substituição entre os dois bens é feita de forma instantânea. Muitas vezes os consumidores, prisioneiros de uma certa inércia, necessitam de uma mudanças significativas da situação em que se encontram para mudarem seus hábitos. Esse efeito é chamado de “threshold” (SNYDER, NICHOLSON, 2008). Uma forma de capturar esse tipo de comportamento é assumindo que os indivíduos

encaram “limiars de preferência”. Nesse tipo de situação, a cesta A poderá escolhida em detrimento da B somente se:

$$U(A) > U(B) + \varepsilon$$

onde ε é o limiar que deve ser superado.

Alguns autores como Vedenov, Duffield e Wetzsteïn (2006) utilizaram essa idéia de “limiar” para examinar em que condições indivíduos substituiriam gasolina por etanol.

“[...] switching thresholds are the price levels below which it becomes economically optimal to adopt the alternative fuels.” (VEDENOV, DUFFIELD, WETZTEÏN, 2006, p10)

Para estes autores, a volatilidade do preço da gasolina nos Estados Unidos, traz desvantagens ao uso desse combustível. Sendo assim, a mistura com o etanol, que lá tem o preço mais estável, traria benefícios econômicos, dada a inércia do consumidor.

No caso brasileiro é o inverso que ocorre. Aqui se tem o preço da gasolina estável por opção do Governo Federal e o preço do etanol altamente volátil em função das safras, o que acarreta certas ineficiências dado o limiar das preferências do consumidor, pois a adição de etanol confere maior volatilidade ao preço da gasolina

1.2- Condicionantes da demanda por etanol e gasolina

O objetivo geral deste trabalho é analisar o comportamento da demanda de etanol e gasolina após a inserção do carro *flex*. Com essa nova estrutura da frota, o consumo tanto de etanol quanto de gasolina se tornam se tornam muito mais elásticos no curto prazo a variações no preço relativo entre os dois combustíveis.

Sendo assim, o objetivo específico desta monografia é desenvolver um modelo que permita prever a demanda por etanol e gasolina. Para tanto, é necessário estudar não somente a relação de substituição entre os dois combustíveis, mas também os fatores que determinam a demanda “agregada” por esses dois combustíveis.

O modelo de demanda por combustíveis (etanol e gasolina) parte primeiramente da modelagem da demanda agregada por combustível, em nível Brasil. Esse consumo total

brasileiro depende, primordialmente, do total da frota de veículos, independente do tipo de combustível consumido. Outro fator que influencia o consumo é o preço do combustível, no caso, esse preço deve ser um índice que combine as variações do preço da gasolina quanto do preço do etanol, a fim de formar um preço para o consumo agregado de combustível que se deseja modelar.

Sintetizando, propõe-se a seguinte estrutura para o modelo:

$$DC = F (FROTA, PREÇO)$$

onde:

DC = demanda total de combustíveis automotivo (etanol e gasolina)

FROTA = frota total de veículos leves

PREÇO = índice de preço de combustível automotivo (gasolina e etanol)

O aumento da venda de carros *flex* faz com que aumente a cada ano o percentual da frota que pode migrar de um combustível para o outro. Sendo assim, compreender e antecipar a evolução das vendas de automóveis e por consequência a evolução da frota e de sua composição é de suma importância para compreender as variações no consumo dos combustíveis. Dada a importância da frota para a modelagem do consumo de total de combustíveis automotivos, e mais a frente para a compreensão da dinâmica do consumo de cada um dos dois combustíveis, é necessário um modelo específico para essa variável.

A variação na venda de automóveis pode estar relacionada a variações no preço do produto. De forma análoga, também é de se esperara que mudanças na renda afetem a demanda por veículos. Outra variável que pode impactar a venda de veículos, e por consequência, a frota (estoque), é o crédito, que permite a antecipação da renda futura esperada (LOSEKANN, VILELA, 2010). Sintetizando, ter-se-ia:

$$DA = F(Y, CR, P)$$

onde:

DA = venda de automóveis

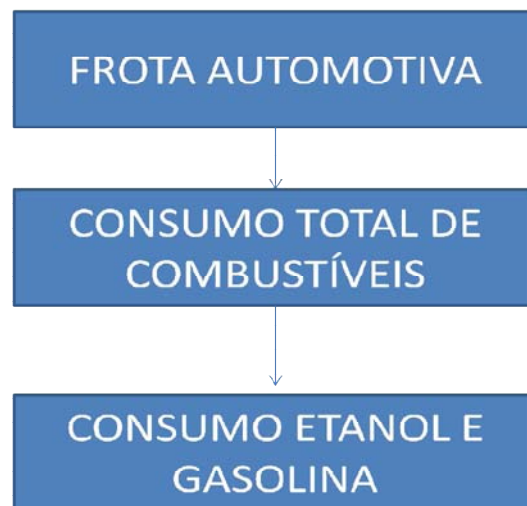
Y = renda

CR = crédito

P = preço do veículo

Estimado o consumo total de combustível é necessário agora modelar o consumo que será destinado à gasolina e aquele destinado ao etanol. Sendo assim, deve-se distinguir dentro da frota, segundo o motor, três tipos de consumidores: primeiro, os veículos movidos exclusivamente a etanol; o segundo grupo, os veículos consumidores cativos de gasolina, que ainda representam hoje aproximadamente metade da frota do país, mas vem perdendo representatividade; e, por fim, o terceiro grupo possuidor de carro *flex*, que consome tanto etanol quanto gasolina.

Figura 1: Estrutura da modelagem



Fonte: LOSEKANN, CASTRO, 2011

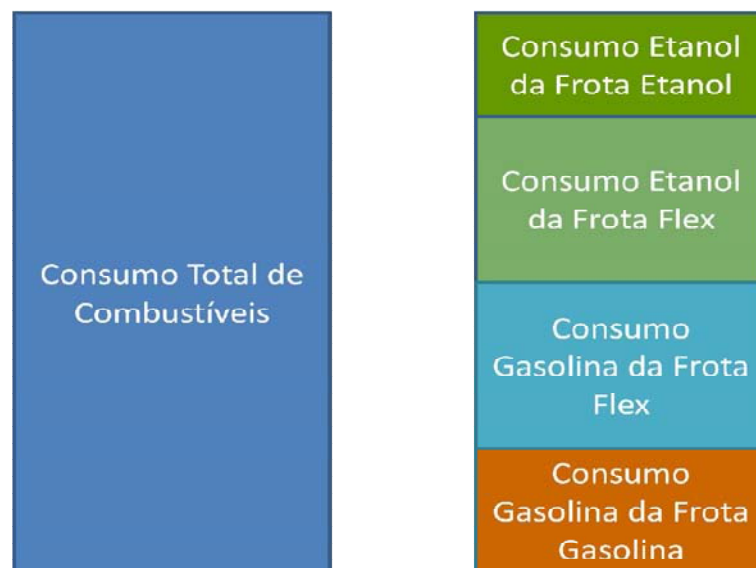
A importância de se distinguir esses três tipos de consumidores é devida a forma como cada um reagirá às variações no preço dos dois combustíveis. De fato, os consumidores cativos, como é o caso da frota a etanol e da frota a gasolina, a priori não respondem, no curto prazo, a variações no preço relativo entre os dois combustíveis. A decisão de qual combustível consumir, desse tipo de consumidor, ocorre no momento da compra do veículo. Além disso, depois de efetivada a compra do carro, dificilmente o agente vai mudar seus hábitos de locomoção devido a oscilações de curto prazo no preço do combustível. Ou seja, o consumidor que andava de ônibus e resolveu comprar um carro para ir ao trabalho, dificilmente vai deixar o carro na garagem toda vez que aumentar o preço do combustível.

Por outro lado, o proprietário do carro *flex* pode migrar de um combustível para o outro com grande facilidade. À medida que varia o preço relativo entre o etanol e a gasolina, esse consumidor poderá optar pelo combustível que for economicamente mais vantajoso. Esse agente não deixa de fazer seus trajetos diários ao trabalho, mas se antes ele abastecia com

etanol e o preço do etanol se elevou a ponto de tornar esse combustível desvantajoso, ele passará a abastecer com gasolina, gerando uma maior volatilidade no consumo de ambos os combustíveis.

Sendo assim, devemos subtrair do consumo total de combustível, o consumo cativo (mais estável por hipótese), e então modelar as variações do consumo de gasolina e etanol de acordo com variação do preço relativo dos dois combustíveis (LOSEKANN, CASTRO, 2011).

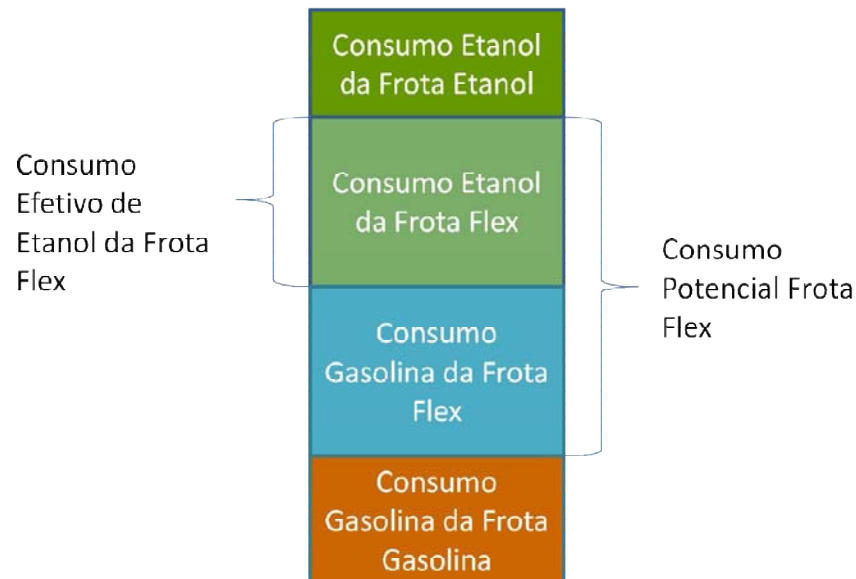
Figura 2: Consumo dado pela frota



Fonte: LOSEKANN, CASTRO, 2011

Definindo o consumo potencial de etanol, como o consumo de etanol caso toda a frota *flex* consumisse etanol, e o consumo efetivo, aquele consumo de etanol que realmente ocorre, pode-se relacionar o a razão entre esses dois consumos com a variação do preço relativo (preço do etanol/preço da gasolina).

Figura 3: Consumo efetivo e consumo potencial



$$\text{Consumo Efetivo} = \lambda \text{ Consumo Potencial} \quad \lambda \in (0, 1) ; \lambda = f(P_r)$$

Fonte: LOSEKANN, CASTRO, 2011

A variação do consumo efetivo sobre do consumo potencial será função da variação do preço relativo. Sintetizando, propõe-se a seguinte estrutura geral para o modelo:

$$CE/CP = F(PE/PG)$$

onde:

CE/CP = consumo efetivo de etanol sobre o consumo potencial de etanol

PE/PG = preço do etanol sobre preço da gasolina

1.3- A distribuição geográfica do consumo de etanol e gasolina no Brasil

No Brasil, os grandes consumidores de etanol são os estados produtores e suas regiões periféricas. Ou seja, o etanol hoje não é competitivo em todo o país. Sua competitividade varia de acordo com a distância entre as áreas produtoras e as localidades de consumo, bem como em função das políticas fiscais (tributação) praticadas pelos estados.

“Nos estados próximos às áreas produtoras, o preço relativo favorece a escolha do etanol como combustível em automóveis flexíveis. Já nos estados do Norte, o preço relativo é elevado e o etanol é menos competitivo.” (LOSEKANN e CASTRO p.5)

Figura 4: Principais regiões produtoras de etanol



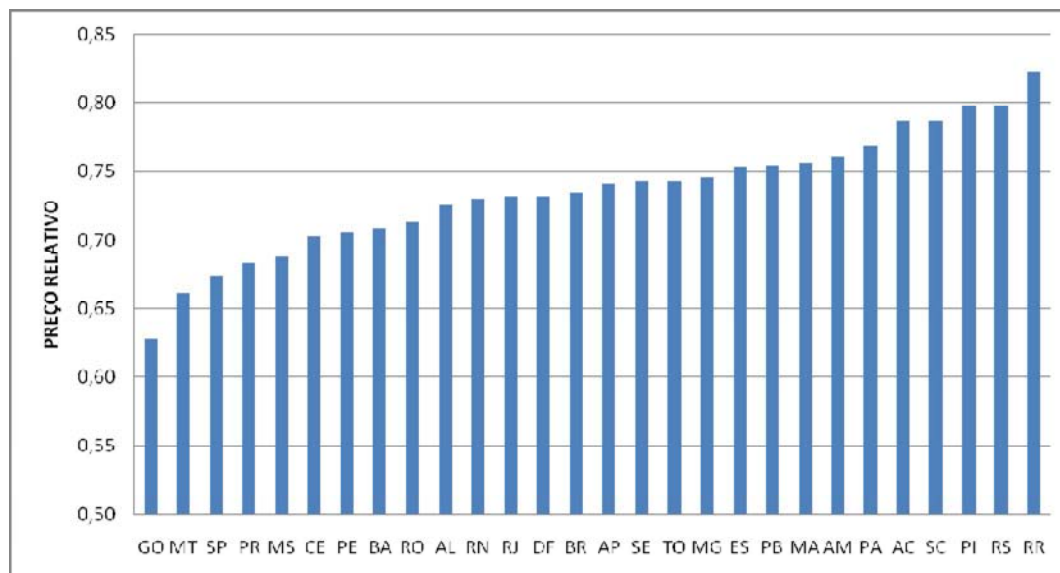
Fonte: Elaboração própria

No Brasil, a alíquota do ICMS cobrado sobre o etanol combustível varia entre 12% a 28%. O imposto estadual cobrado sobre o etanol representa uma parcela significativa do preço final do produto em cada região. Nos estados de São Paulo, Paraná, Bahia, Goiás e mais recentemente Minas Gerais, a incidência de impostos sobre o etanol é menor, o que propicia preços mais favoráveis.

No Estado de Goiás, houve, em 2006, uma redução da alíquota do ICMS de 25% para 15% e, em 2007, essa alíquota foi reajustada para 20%. No Rio de Janeiro, em 2004, houve uma redução da alíquota de 30% para 24%. Ambos os estados tiveram um aumento do crescimento do consumo de etanol de mais de 50% ao ano, após a mudança (COSTA, GUILHOTO, 2009)

O Estado de São Paulo, por exemplo, pratica uma alíquota do ICMS para o etanol de 12% sendo que a mesma, para a gasolina, é de 25%. Concede também incentivos indiretos, exemplo da alíquota do IPVA 25% menor para carros *flex-fuel*. Sendo um estado produtor, procura incentivar a geração de emprego, assim como a geração de receitas indiretas provenientes da cadeia produtiva do etanol. Pode-se dizer, também, que a promoção do consumo de etanol nas grandes cidades como São Paulo, pode fazer parte de uma política de incentivo a redução das emissões de gases de efeito estufa, já que a substituição do da gasolina por etanol permite uma redução de quase 80% das emissões de CO₂ (CAVALCANTI, 2011).

Figura 5: Variação espacial do preço relativo (etanol/Gasolina)

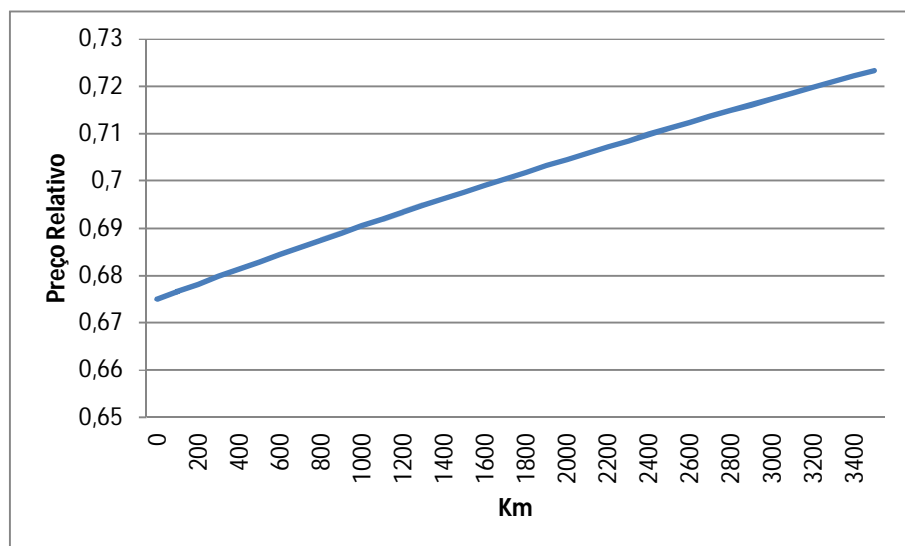


Fonte: ANP (2010)

Além dos incentivos estaduais que acentuam as distorções no consumo de etanol no Brasil, temos ainda a distância do ponto de consumo em relação aos centros produtores que limita a competitividade desse combustível. Segundo a Samuelson (1952), o custo de transporte influencia na determinação do preço competitivo. Pelo modelo de equilíbrio espacial, o etanol teria menores condições de competir com a gasolina em longas distâncias devido ao seu menor poder calorífico. Sendo a gasolina 30% mais eficiente energeticamente, o seu custo de transporte, por unidade de energia, cresce a uma taxa menor que a do etanol. Além disso, a produção de gasolina, em refinarias, é mais bem distribuída geograficamente do que o etanol, dificultando ainda mais uma concorrência equilibrada entre os dois combustíveis, no território nacional.

Realizando um exercício de aritmética simples, pode-se demonstrar essa perspectiva. Supondo que o custo de transporte de 1000 litros de gasolina seja de R\$ 0,10 por Km, e dado que 1 litro de etanol equivale energeticamente a 0,7 litros de gasolina tem-se que: o custo de transporte de 1000 litros de etanol em gasolina equivalente (1,44 litros de etanol equivalem energeticamente a 1 litro de gasolina), ou seja, 1438 litros de etanol, é de R\$ 0,143 por Km. Supondo ainda que o preço do litro do etanol e da gasolina, partindo da mesma origem, sejam de R\$ 1,3 e R\$ 2 respectivamente (i.e., preço relativo etanol/gasolina de 0,675), caso se quisesse levar um litro de etanol e gasolina, sobre essas circunstâncias, de Ribeirão Preto à Manaus, ou seja, uma distância aproximada de 3600, o preço relativo etanol/gasolina não seria mais de 0,675, mas sim de 0,723, como mostra a figura 6.

Figura 6: Mudança de preço relativo etanol/gasolina em função da distância percorrida



Fonte: elaboração própria

Na seção seguinte, apresentam-se as especificações dos modelos e a mensuração das variáveis utilizadas na estimação dos modelos.

CAPITULO II - ESPECIFICAÇÃO DOS MODELOS E BASE DE DADOS

Nesta seção desenvolve-se um modelo de determinação do consumo de combustíveis automotivos. Para tanto, é discutida a forma funcional e a identificação do modelo. Para em seguida, apresentar a base de dados. Por fim, serão apontadas as especificações e a mensuração das variáveis dos modelos.

2.1- Forma funcional e identificação dos modelos

A ênfase dos modelos propostos está voltada, primordialmente para a exploração dos determinantes do consumo de combustíveis automotivos, em detrimento de análises mais refinadas. Assim, o interesse quanto às características da forma funcional dos modelos concentra-se na robustez das estimações.

a) Modelagem da frota

Para se estimar a frota de veículos é necessário modelar a demanda por veículos. Os modelos de demanda normalmente são expressos na forma log-log:

$$\ln(y_t^d) = \beta_1 + \beta_2 \ln(x_t) + e_t$$

onde,

y_t^d = variável dependente no instante t

x_t = variável explicativa no instante t

β_1, β_2 = parâmetros

e_t = erro

Esse tipo de modelo é muito conveniente do ponto de vista econômico, dado que apresenta elasticidade constante e igual à β_2 . De fato, o coeficiente angular β_2 mede a elasticidade de Y em relação a X, i.e., a variação percentual de Y correspondente a dada variação percentual de X. Ou seja,

$$\beta_2 = \frac{\frac{dy}{y}}{\frac{dx}{x}} = \frac{dy}{dx} * \frac{x}{y}$$

Além disso, o modelo log-log é flexíveis, o que lhe permite se adaptar a diferentes comportamentos da demanda.

Sendo assim, no caso da demanda por automóveis, ter-se-ia:

$$\ln(DA) = \beta_1 + \beta_2 \ln(PA) + \beta_3 \ln(Y) + \beta_4 \ln(VC)$$

onde,

$\ln(DA)$ = logaritmo neperiano da demanda por automóveis

$\ln(PA)$ = logaritmo neperiano do preço dos automóveis

$\ln(Y)$ = logaritmo neperiano da renda

$\ln(VC)$ = logaritmo neperiano do volume real de crédito

β_n = parâmetros

b) Modelagem do consumo de combustíveis

Da mesma forma que o modelo de demanda por automóveis, o modelo de demanda por combustíveis, no caso, o agregado de etanol e gasolina, está na forma log-log. Como visto no primeiro capítulo, a demanda por combustível vai depender do estoque de veículos e do preço dos combustíveis. Sintetizando, propõe-se a seguinte forma para o modelo:

$$\ln(DC) = \beta_1 + \beta_2 \ln(FR) + \beta_3 \ln(PC)$$

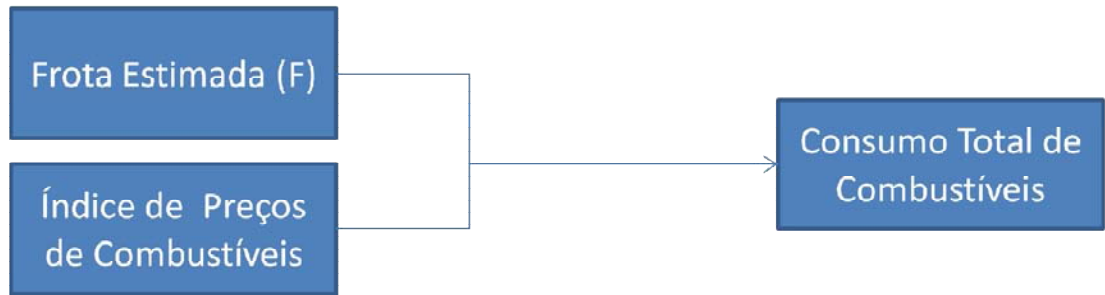
onde,

$\ln(DC)$ = logaritmo neperiano da demanda por combustíveis (gasolina e etanol em gasolina equivalente)

$\ln(FR)$ = logaritmo neperiano da frota de veículos

$\ln(PC)$ = logaritmo neperiano do índice real de preço dos combustíveis

Figura 7: Modelagem do consumo total de combustíveis



Fonte: LOSEKANN, CASTRO, 2011

c) Modelo de substituição

Por outro lado, o modelo de substituição, apresenta características que o diferem dos dois modelos anteriores. Desta feita, deseja-se associar o preço relativo etanol/gasolina com a relação consumo efetivo de etanol/consumo potencial. Para tanto, optou-se pela função logística:

$$P(t) = a \frac{1 + me^{(-\frac{t}{\tau})}}{1 + ne^{(-\frac{t}{\tau})}}$$

onde,

a, m, t, τ = parâmetros

Essa forma funcional permite obter diferentes elasticidades ao longo da curva. De fato, é de se esperar, que para relações de preço muito favoráveis a um determinado combustível, o consumidor seja pouco sensível a mudanças no preço relativo. Em contrapartida, à medida que a relação de preço etanol/gasolina tender para o coeficiente de equivalência (etanol/gasolina = 0,7) é de se esperar que a demanda do consumidor se torne mais elástica.

Vale ter em mente que o consumo efetivo de etanol irá variar em função do preço relativo, e que o consumo potencial também poderá variar no tempo em função do aumento da frota, ou de uma mudança no consumo médio da mesma.

2.2- Base de dados

As informações sobre os dados trabalhados estão sintetizadas na tabela 1.

Tabela 1: Base de dados

Séries	Descrição das séries	Fonte
Consumo de etanol hidratado	Venda mensal de etanol hidratado por estado de janeiro de 2004 a dezembro de 2010 (litros)	ANP
Consumo de gasolina	Venda mensal de gasolina por estado de janeiro de 2004 a dezembro de 2010 (litros)	ANP
Preço etanol	Preço mensal por estado do etanol hidratado de janeiro de 2004 a dezembro de 2010(R\$)	ANP
Preço gasolina	Preço mensal por estado da gasolina de janeiro de 2004 a dezembro de 2010 (R\$)	ANP
Índice de preço dos combustíveis	Índice de Paasche deflacionado, mensal, por estado, de janeiro de 2004 a dezembro de 2010	Calculado a partir de dados da ANP
Renda	Renda real habitual, mensal, Brasil, de janeiro de 2004 a novembro de 2010 (R\$)	PME/IBGE
Frota	Frota de veículos leves, mensal, por estado, de janeiro de 2004 a dezembro	Calculada a partir dos dados do PNAD/IBGE, ANFAVEA e

	de 2010 (unidade)	DENATRAN
Preço do automóvel	Preço real do automóvel, mensal, Brasil (R\$)	IPCA/IBGE
Crédito	Volume real de crédito (R\$), mensal, Brasil.	BACEN

2.3- Especificação e mensuração das variáveis dos modelos

a) Frota de veículos

Como visto no capítulo I, para compreender a evolução do consumo de combustíveis automotivos é essencial conhecer a evolução da frota de automóveis. As estatísticas oficiais sobre a frota brasileira de automóveis são divulgados hoje pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). No entanto, há um consenso na literatura brasileira de que esses dados estão superestimados, uma vez que desconsideram parte dos veículos sucateados. “As estimativas da frota circulante realizadas pelos órgãos governamentais diferem significativamente das estimativas realizadas pelo setor privado” (DE NEGRI, 1998, p 15).

Assim, para estimar o estoque de veículos, é necessário aplicar uma função de sucateamento aos dados de venda de automóveis. O suplemento da Pesquisa Nacional de Amostras de Domicílios (PNAD) de 1988, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é ainda hoje, a fonte mais recente disponível sobre a composição etária da frota (LOSEKANN, VILELA, 2010). Apesar de reconhecerem que o perfil da frota brasileira de veículos leves hoje seja, provavelmente, diferente da de 1988, muitos autores optam por utilizá-la em função de sua significância estatística e da falta de melhores dados.

A abordagem utilizada por Losekann e Vilela para estimar a frota brasileira em 2009 é baseada nos dados sobre o estoque de veículos leves disponibilizados pela PNAD, do IBGE, e nos dados de venda de veículos divulgados pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). Esses autores testaram três funções sugeridas pela literatura para descrever o processo de sucateamento, e aplicaram o método de otimização, utilizando o Solver do Excel, para determinar os parâmetros das funções. As funções descrevem a proporção de veículos sucateados, em função da idade do veículo:

$$\text{Função Logística } S(t) = \frac{1}{1+a*e^{-b*t}}$$

$$\text{Função Gompertz } S(t) = e^{-e^{a+b*t}}$$

$$\text{Função Weibull } S(t) = 1 - (e^{-\left(\frac{t-b}{a}\right)^b})$$

onde:

S = função que descreve os veículos sucateados

t = idade do veículo

a ^ b = parâmetros reais

Reestimando os parâmetros (a) e (b), obtêm-se a tabela 1.

Tabela 2: Curvas de sucateamento estimadas

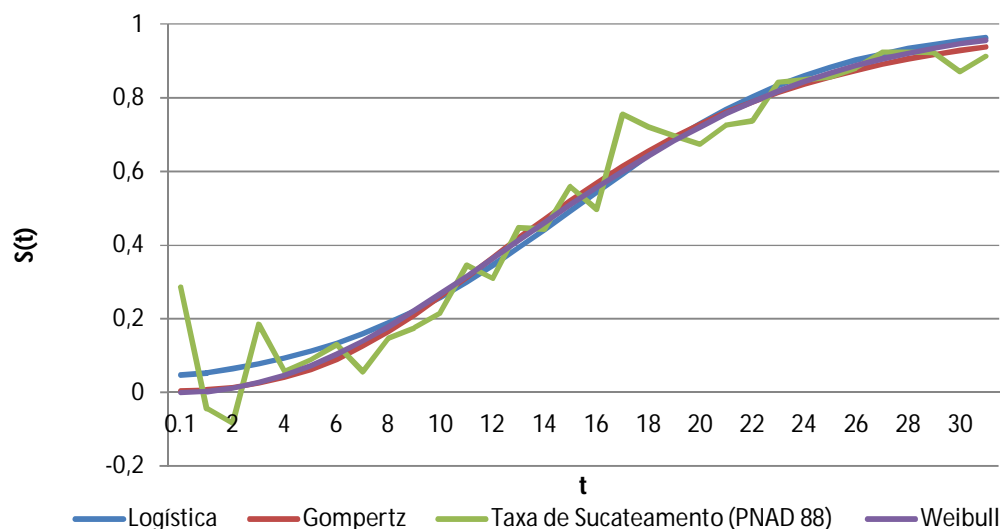
	Parâmetro A	Parâmetro B	Soma do quadrado dos erros	Erro padrão da estimativa (σ[^])	Coefficiente de determinação (R²)
Logística	22.073	0.204	0.1822	0,079	0,947
Gompertz	1.7406	-0.144	0.1768	0,078	0,951
Weibull	17.734	2.0371	0.1867	0,080	0,949

Fonte : LOSEKANN, VILELA (2010) e elaboração própria

Considera-se a função mais adequada aquela que minimize a diferença entre os valores estimados pela função e os valores da PNAD de 1988, i.e., aquela que apresente a menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR). A SQR é a variação residual ou *inexplicada* dos valores de S em relação à linha de regressão (GUJARATI, 2006)

Observando-se a tabela 2, contata-se que a função de Gompertz foi a que se mostrou melhor ajustada aos dados da PNAD. O coeficiente de determinação (R²) desta função é de 0,95, ou seja, a função Gompertz é capaz de explicar 95% da variância de S. A figura 7 mostra a taxa de sucateamento em função do tempo.

Figura 8: Curvas de sucateamento



Fonte: LOSEKANN E VILELA (2010)

Logo, com base na curva de sucateamento de Gompertz e considerando os dados de vendas fornecidos pela Anfavea é possível estimar a frota de veículos leves. Pode-se observar na tabela 3 que, para o ano de 2010, a estimativa da frota de automóveis é de 23.160.764 veículos, resultado significativamente menor que os dados do Denatran (37,2 milhões de veículos). Comparando esse resultado com as estimativas dos dois principais representantes do mercado, a Anfavea e o Sindipeças (Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores), reforça-se a confiança na afirmação de De Negri, citado anteriormente. De fato, as estatísticas do Denatran podem ser consideradas superestimadas.

Tabela 3: Estimativas de frota de automóveis em 2010

Denatran	Anfavea	Logística	Gompertz	Weibull	Sindipeças
37.188.341	25.540.696	25.492.726	25.160.764	25.103.855	25.885.718

Fonte: LOSEKANN, VILELA (2010), ANFAVEA, DENATRAN, SINDIPEÇAS

Dada essa metodologia, pode-se estimar igualmente a frota por tipo de combustível. Nesse caso é aplicada a curva de sucateamento de Gompertz aos dados de venda de veículo por tipo de combustível disponibilizados pela Anfavea. Observa-se na tabela 4 que em 2010 a frota *flex-fuel* já era equivalente a frota a gasolina. Os veículos *flex* representavam, em 2010, 47,3% da frota de automóveis e os veículos a gasolina representavam 48,1% da mesma.

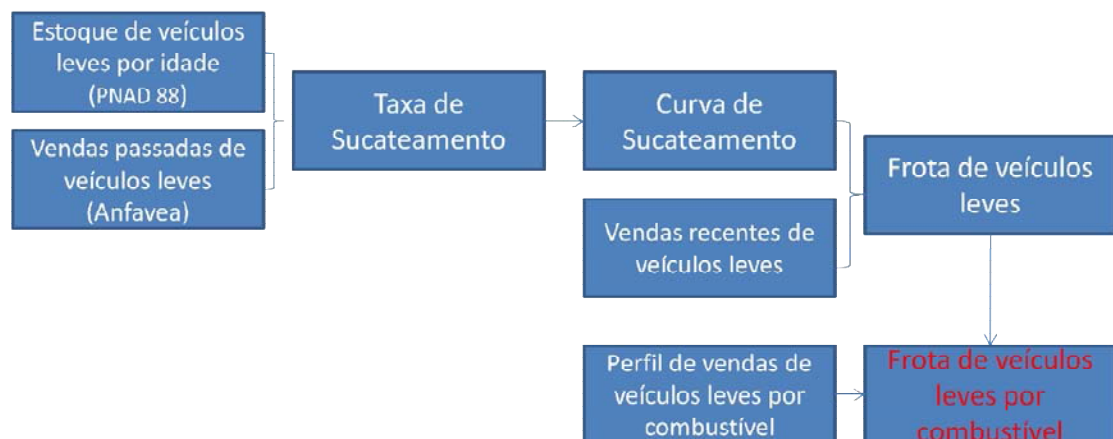
Tabela 4: Frota por combustíveis e tipo de veículo em 2010

Frota	Gasolina	Etanol	Flex-Fuel
Automóveis	11.141.180	1.065.728	10.952.687
Comerciais Leves	1.728.192	152.244	1.385.097

Fonte: LOSEKANN, VILELA (2010) e elaboração própria.

A figura 8 sintetiza os passos para a obtenção da frota de veículos leves por tipo de combustível.

Figura 9: Metodologia de estimação da frota de veículos por combustível



Fonte: LOSEKANN E VILELA, (2010)

Após obtenção da frota de veículos leves por combustível, pode-se utilizar distribuição da frota por estado, disponibilizada pelo Denatran, para estimar a frota por estado.

b) Preço do automóvel

O preço é a variável mais comumente utilizada para estimar a demanda por um determinado produto. No caso da demanda por automóveis, existe na literatura, uma diversidade de variáveis que foram utilizadas como *proxy* para o preço do veículo. Vilela, Losekann e Iootty (2010), fizeram uso do preço do veículo mais barato como aproximação para o preço dos automóveis. Porém, essa variável parece um tanto tendenciosa, ao se

considerar que um veículo ao longo do tempo perde valor à medida que vai se tornando obsoleto o que não retrataria a tendência média do preço dos automóveis. Outro elemento que seria negligenciado por essa variável é o efeito do crescimento da renda sobre a demanda de bens inferiores. Quando o consumidor atinge um nível orçamentário maior, sua nova renda permite que ele substitua os produtos de menor qualidade (inferiores), que seria o caso do veículo mais barato, por produtos de melhor qualidade. Esse fenômeno pode ser observado na recente tendência de queda na venda de veículos com motores de 1000 cilindradas, decorrente do aumento da renda dos consumidores que agora podem comprar veículos de maior cilindrada.

Outros trabalhos consideram o preço relativo do veículo calculado pela razão entre o preço por atacado dos produtos industrializados, que incluem máquinas, equipamentos, e veículos, calculado pelo IBGE, e o índice geral de preços disponibilizado pela Fundação Getúlio Vargas. Porém, podem-se destacar dois problemas relacionados à utilização dos preços relativos: primeiro a composição do índice, e segundo, o fato deste índice ser uma média de índices de preços com diversos componentes. Portanto, a introdução dessa variável não refletiria a reação da demanda desejada, além do fato do coeficiente estimado ser de difícil interpretação (LOSEKANN, VILELA, IOOTTY, 2010).

Existe da mesma forma, a possibilidade de se utilizar o preço do automóvel novo presente no Índice de Preço Nacional ao Consumidor Amplo (IPCA) deflacionado pelo próprio IPCA. A abrangência geográfica do IPCA compreende as regiões metropolitanas de Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Belo Horizonte, São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Porto Alegre, Brasília e o município de Goiânia. Por ser composto, em grande parte, por dados metropolitanos, poder-se-ia considerar que o índice é viesado para representar o preço do veículo sobre todo o território. Porém, como a maior parte da venda de veículos acontece nessas regiões, pode-se considerar o preço divulgado pelo IPCA uma boa aproximação. Sintetizando, ter-se-ia:

$$PA = p_a / IPCA$$

onde,

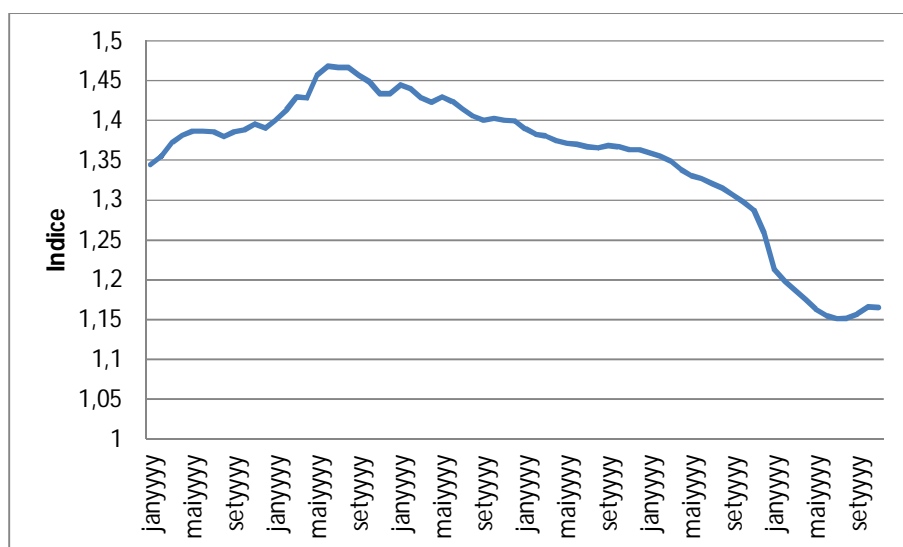
PA = preço real do automóvel novo

p_a = índice de preço do automóvel novo dentro do IPCA base 100 em novembro de 2009

IPCA = índice de preço ao consumidor amplo base 100 em novembro de 2009

Observando-se a série do índice de preço de veículos novos apresentada na figura 9, constata-se uma tendência de queda do preço a partir de meados de 2005. Essa tendência pode ser justificada por fatores como a queda da taxa de câmbio, que barateou o carro importado, aumentando a concorrência no mercado automotivo nacional. Em contrapartida, com relação à tributação, segundo a Anfavea, houve um aumento da carga tributária em 2004 que perdurou até final de 2008, o que provavelmente explica a tendência de alta do preço do veículo entre janeiro de 2004 e julho de 2005. Porém, ao final de 2008, com o agravamento da crise internacional, o governo brasileiro tomou diversas medidas anticíclicas, e uma delas foi a redução da carga tributária sobre veículos novos. A alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) do carro até 1000 cilindradas, por exemplo, foi reduzida de 7% para zero, o que explica em grande parte a queda mais acentuada do preço no início de 2009.

Figura 10: Índice de preço de veículos novos



Fonte: IPCA/IBGE

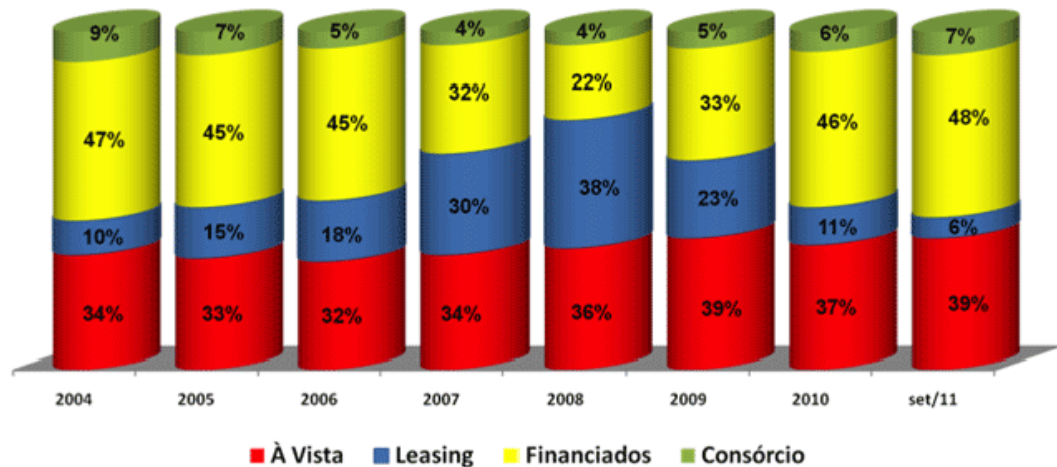
c) Renda e crédito

As variáveis, renda e crédito estão presentes, como visto no capítulo I, na modelagem da frota. De fato, para se antecipar o consumo de combustível é necessário prever a evolução do seu meio de consumo, no caso, a frota.

Existem quatro formas de pagamento para a compra de veículos no Brasil: empréstimos de financeiras, consórcios, operações de arrendamento mercantil (*leasing*), e à vista. Como

mostra a figura 10, atualmente 87% das vendas são feitas via financiamento ou pagamento à vista. Observa-se também, que o *leasing* opera como um substituto ao financiamento em momento em que há um aumento da restrição ao crédito, como em 2007 e 2008, consequência do aumento da incerteza e, por conseguinte do aumento das taxas de juros praticadas.

Figura 11: Modalidade de pagamento na venda de veículos e comerciais leves



Fonte: ANEF

Em setembro 2011, segundo a Associação Nacional das Empresas Financeiras das Montadoras (ANEF), o saldo do crédito para aquisição de veículo pelas pessoas físicas correspondia a 10,3% do total do Sistema Financeiro Nacional (SFN) e 32% do total de crédito a pessoa física.

Supondo um cenário em que o Governo Brasileiro mantenha sua política deliberada de redução da taxa básica de juros, pode-se esperar que as vendas de veículos financiados continuem se impondo ao leasing.

Losekann, Vilela e Iootty, assumiram, para estimar a venda de automóveis, que esta é função da renda e do volume de crédito. Usando dados de 1993 a 2009, obteve-se:

$$VA = f(Y, VC)$$

Onde:

Y = renda média do trabalho principal

VC = volume de crédito a pessoa física

De fato, o modelo proposto condiz com os fatos observados. A compra de um veículo a vista pode ser relacionada diretamente com a renda do consumidor, já a compra financiada depende das condições de crédito, como a taxa de juros e o prazo do financiamento, que afetam diretamente o comprometimento da renda para o pagamento das parcelas da dívida. Nesse caso, o volume de crédito a pessoa física serve como *proxy* para o financiamento, dado que é função das diversas condições de financiamento.

A compra de um veículo pode ser considerada um gasto planejado. Sendo assim, não se trata de um consumo autônomo, mas sim de um consumo que é função da renda disponível. Sendo:

$$C = a + c \cdot Y_D$$

onde,

C = consumo

a = consumo autônomo, i.e., a parcela da demanda por bens de consumo que é influenciada por outros fatores que não sejam a renda corrente, tais como crédito, riqueza, etc..

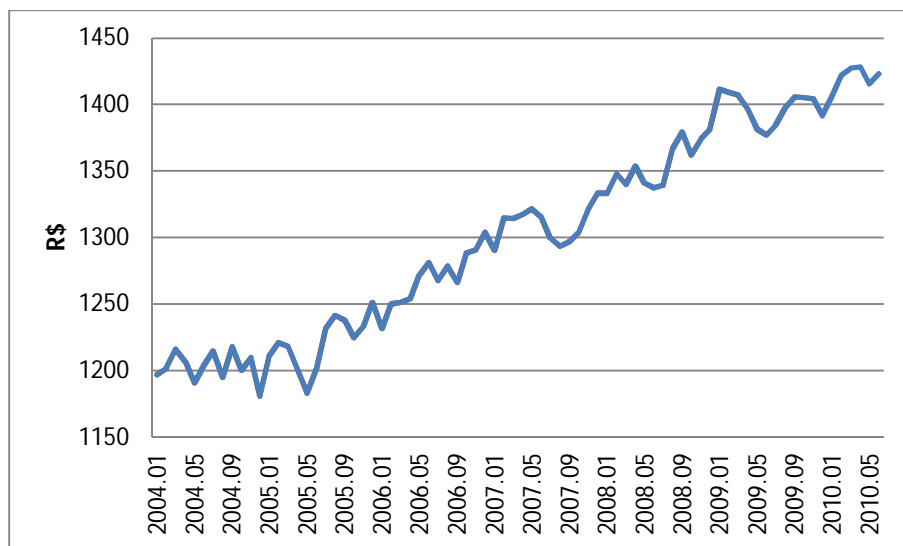
c = propensão marginal a consumir

Y_D = renda disponível (renda menos tributos)

No caso, a variável renda utilizada foi o rendimento real habitual mensal divulgado pelo IBGE através da Pesquisa Mensal de Emprego (PME). A PME abrange as regiões metropolitanas do Rio de Janeiro, Recife, Belo Horizonte, São Paulo, Porto Alegre e Salvador. A renda real habitual não é a renda disponível, mas se supormos que os tributos permanecem constantes ao longo do tempo, a renda habitual torna-se uma boa aproximação para a renda disponível. A utilização de uma renda média não permite observar alterações na distribuição de renda, que poderiam ter impactos sobre a demanda de automóveis, dado que a elasticidade renda da demanda não deve ser a mesma para todas as faixas de renda. Porém, como hipótese simplificadora pode-se considerar que as alterações na distribuição da renda não terão impactos significativos sobre a venda de automóveis.

A figura 11 mostra a evolução da renda real habitual no período de janeiro de 2004 a maio de 2010. Entre janeiro de 2006 e maio de 2010 o crescimento mensal médio foi de 0,27% ao mês, o que representa um crescimento de 15,6% nesses 53 meses.

Figura 8: Renda real habitual (R\$)

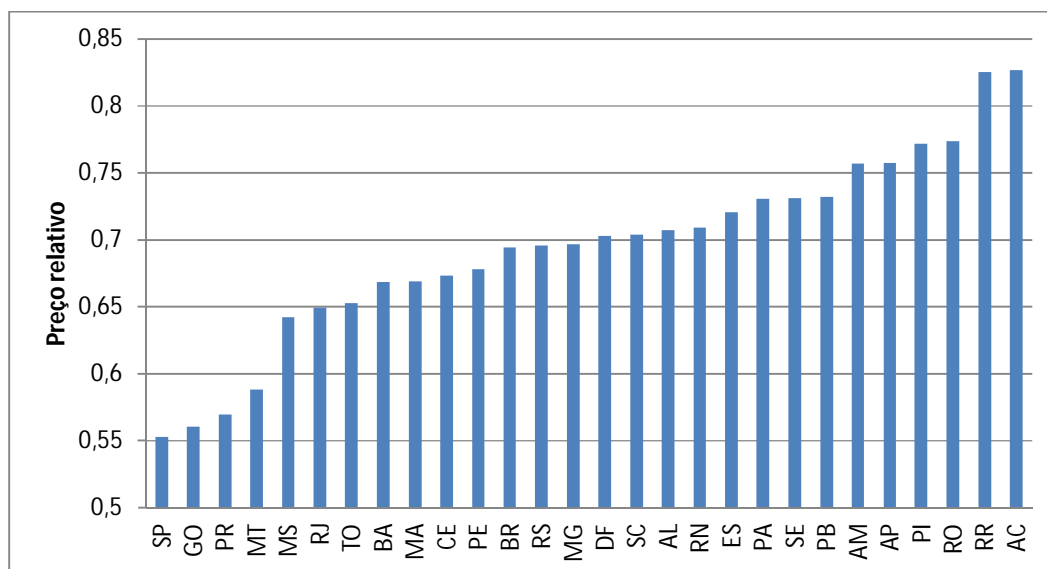


Fonte: PME/IBGE

d) Preço dos combustíveis

A variância do preço do etanol entre os estados é muito maior que a variância do preço da gasolina. Isso decorre, como visto anteriormente, de políticas fiscais diferenciadas, e da concentração da produção do etanol, que não acontece no caso da gasolina, que tem uma produção geograficamente mais bem distribuída. Sendo assim, o preço relativo entre os dois combustíveis, que é determinante no processo de escolha do consumidor, não é homogêneo sobre todo o território brasileiro, como mostra a figura 12. Estados produtores de etanol como São Paulo, Goiás, Paraná, Mato Grosso, etc., possuem preços do etanol significativamente mais baixos, logo um preço relativo etanol/gasolina menor, em relação a estados distantes das áreas produtoras como o Acre, Roraima, etc..

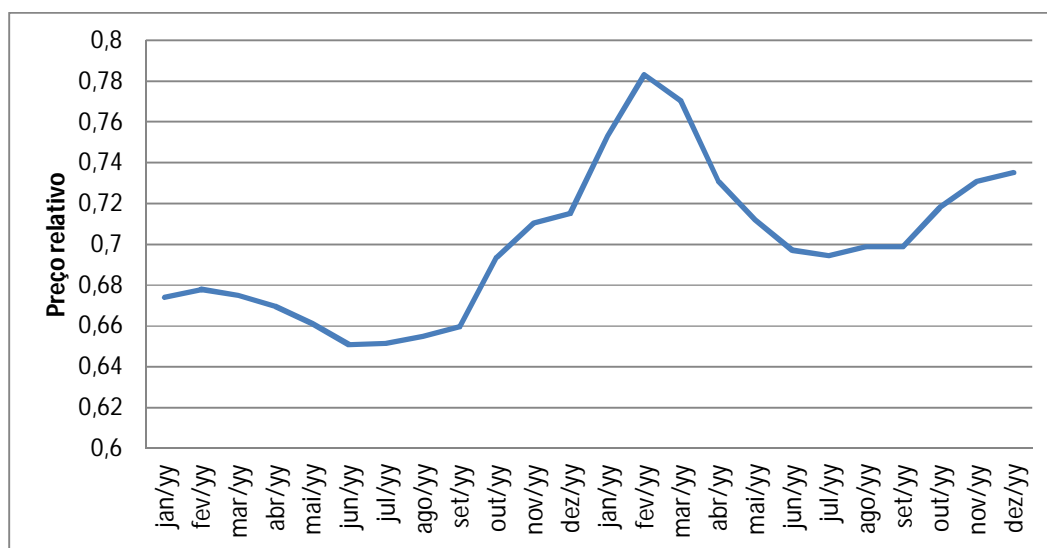
Figura 9: Preço relativo etanol/gasolina por estado (em julho de 2010)



Fonte: ANP

Do ponto de vista temporal, observa-se na figura 13 a sazonalidade do preço relativo etanol/gasolina, decorrente da sazonalidade da produção da cana-de-açúcar. De fato, no período de entressafra, de dezembro a março, a uma queda na oferta de etanol que acarreta o aumento do seu preço.

Figura 14: Preço relativo etanol/gasolina no tempo (ano de 2009/2010)



Fonte: ANP

Pode-se, com base nos dados de preço do etanol e da gasolina, assim como os dados de venda de ambos os combustíveis, calcular um índice de preço de combustível. Utilizando o índice de Paasche ter se ia:

$$P_{0,t}^p = \frac{\sum p_t^i * q_t^i}{\sum p_0^i * q_t^i}$$

onde:

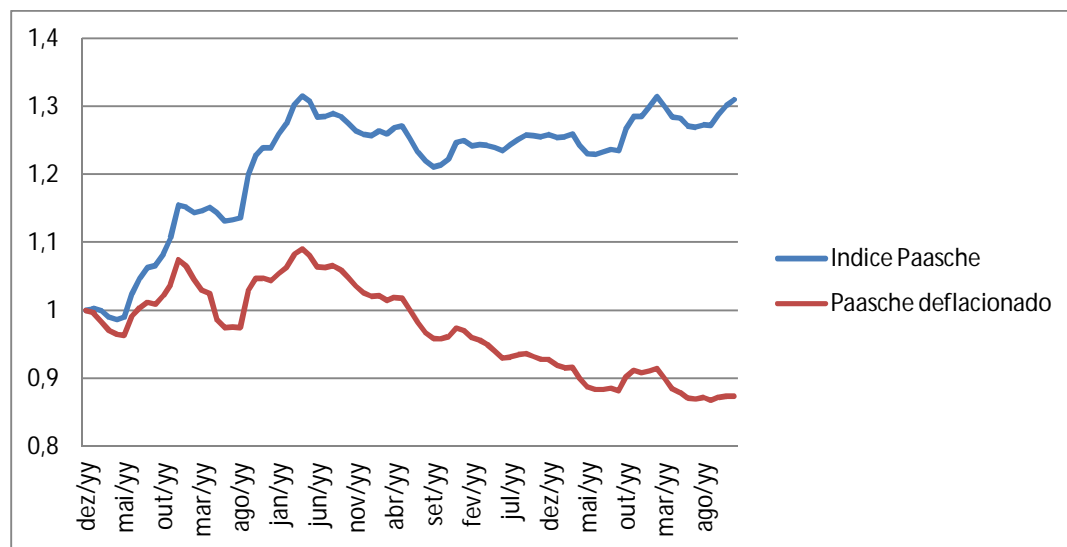
p_t^i = preço do combustível i no instante t

q_t^i = quantidade consumida do combustível i no instante t

$P_{0,t}^p$ = índice de Paasche

Aplicando a formula a serie de preços e de venda de etanol e gasolina, no período de dezembro de 2003 a dezembro de 2010, obtêm-se uma série do índice de preço nominal de combustível para o período. Se deflacionarmos a série pelo IPC obtém-se a série do índice de preço real de combustível para o período de dezembro de 2003 a dezembro de 2010.

Figura 10: Índice de preço de combustível (etanol e gasolina)



Fonte: ANP e elaboração própria

Observa-se na figura 14 que, entre 2004 e 2010, o índice de preço real de combustível teve uma queda de mais de 12%. Essa deflação dos combustíveis pode ser explicada por dois fatores: o primeiro deve-se a inserção do carro *flex* e por consequência, o aumento do consumo de etanol nas regiões onde seu preço é relativamente menor que o preço da gasolina. O segundo fator é a política deliberada do Governo Federal de, através do monopólio do

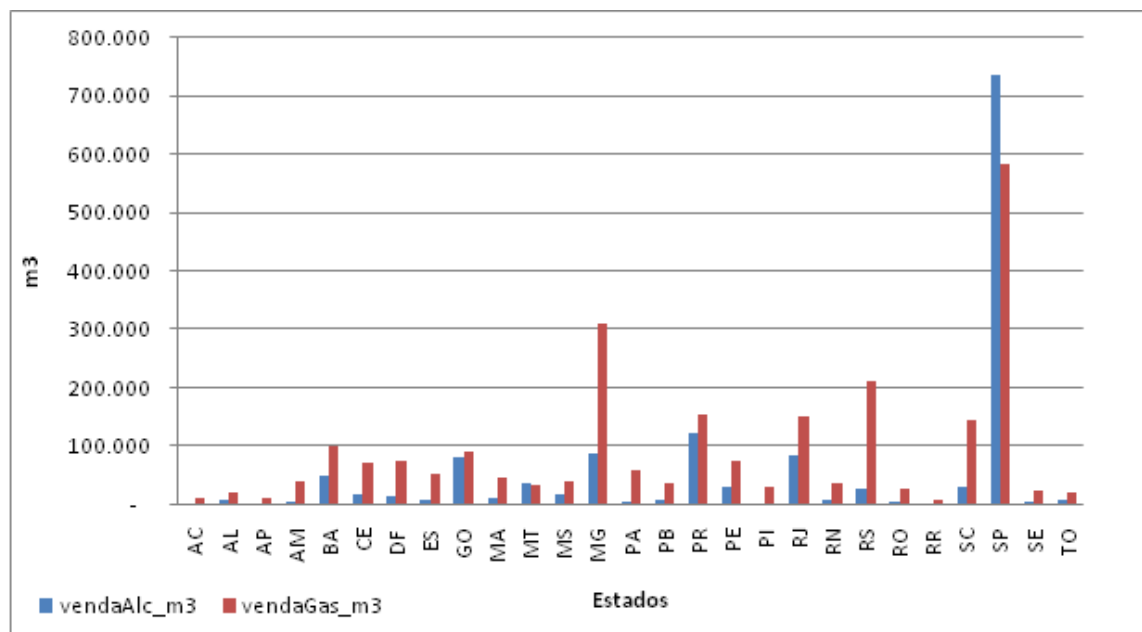
refino da Petrobrás, controlar o preço da gasolina. De fato, apesar das flutuações do preço internacional do petróleo durante o período analisado, não houve reajuste no preço da gasolina na porta da refinaria.

e) Consumo de combustíveis automotivos

Em decorrência da variabilidade do preço do etanol tanto geograficamente quanto temporalmente, o consumo de ambos os combustíveis também irá variar em função destes dois fatores.

Como visto no primeiro capítulo, o consumo de etanol e gasolina no Brasil é heterogêneo do ponto de vista espacial. O consumo do etanol está concentrado próximo as regiões produtoras, como mostra a figura 15. Sendo assim, para se compreender a escolha dos consumidores entre os dois combustíveis é necessário estudá-la geograficamente.

Figura 11: Venda de etanol e gasolina por estado (em julho de 2010)

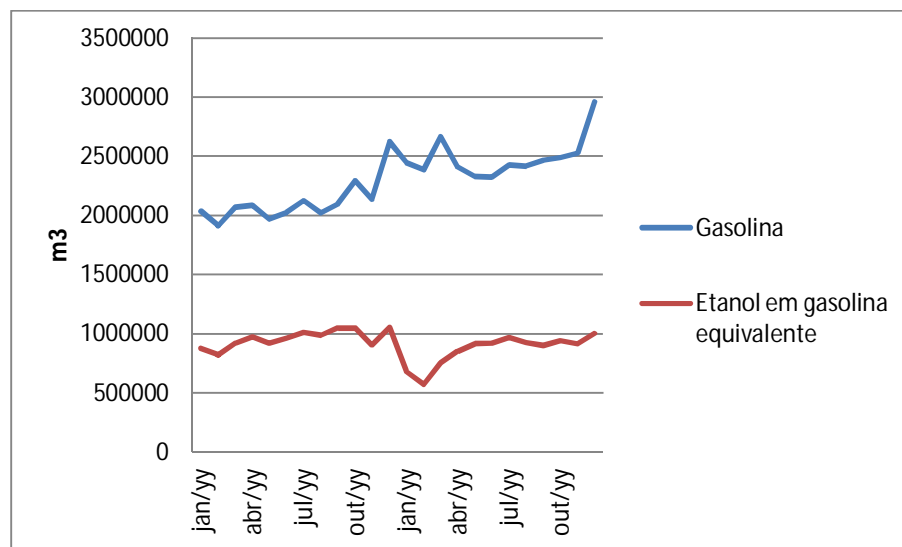


Fonte: ANP

Hoje, o Estado de São Paulo é de longe o maior produtor e maior consumidor de etanol do país. Ele, responde em média a mais de 50% do consumo de etanol. Isso se deve a três fatores principais: o primeiro, à proximidade entre a área de produção e a de consumo, o segundo, à política de incentivos fiscais já mencionados anteriormente, e terceiro, ao peso da sua economia.

Outro aspecto importante do consumo do etanol e da gasolina é a sua sazonalidade decorrente dos períodos de safra e entressafra da cana. Como vemos na figura 16, nos períodos de entressafra, de dezembro a março, as usinas ficam paradas, o que reduz a oferta do etanol e pressiona seu preço. O aumento do preço do etanol é repassado ao consumidor, que poderá migrar do consumo do etanol para o consumo da gasolina se a relação de preço entre os dois combustíveis não for mais vantajosa para o etanol. Pode-se observar que, entre dezembro de 2009 e março de 2010, houve uma queda significativa no consumo do etanol que acarretou uma elevação no consumo da gasolina.

Figura 12: Consumo de etanol e gasolina em 2009/10



Fonte: ANP

CAPITULO III – RESULTADO DAS ESTIMAÇÕES

Nesta seção apresentam-se os resultados das estimações dos modelos. Primeiramente, serão apresentados os resultados da modelagem da demanda por automóveis, para em seguida analisar os resultados do modelo de demanda por combustíveis e as estimações para a substituição entre o etanol e a gasolina. . Por fim, discutem-se alguns resultados de projeções.

3.1- Modelo de demanda por automóveis

A estimação do modelo de demanda por automóveis é feita com base em dados de séries temporais. O tratamento desse tipo de dado pressupõe que a série temporal subjacente seja estacionária. Muitas vezes, ao se estimar uma regressão entre duas séries temporais, obtém-se uma alta correlação entre as variáveis embora a relação entre elas possa não fazer sentido. Essa situação descrita é chamada de regressão espúria. Esse tipo de regressão, em geral, pode surgir caso as séries temporais sejam não-estacionárias. Sendo assim, o teste para verificar se as séries são ou não estacionárias devem preceder qualquer estudo que as relacione.

Ao se efetuar a regressão do logaritmo da venda de automóveis em função do logaritmo da renda, do preço e do volume de crédito, como feito por Losekann, Vilela e Iootty (2010), observa-se através do teste de Durbin-Watson a possível existência de autocorrelação (passo 5 do teste de cointegração para o modelo 1 em anexo). A existência de autocorrelação é um primeiro indício de que talvez a regressão seja espúria, i.e., que as séries sejam não-estacionárias.

De fato, observa-se que as séries em questão apresentam algum tipo de tendência, ou seja, suas médias não permanecem constantes ao longo do tempo. Isso sugere que talvez elas sejam não-estacionárias demandando dessa forma testes de estacionariedade mais formais.

O teste mais comumente utilizado para avaliar a presença de tendência estocástica é o teste de Dickey-Fuller. Seu ponto de partida é o modelo auto-regressivo. Supõe-se que a variável Y_t é não estacionária e contém tendência estocástica. Portanto, no modelo AR(1), a hipótese de que Y_t possui uma tendência pode ser testada como:

$$H_0: \beta_1 = 1 \text{ versus } H_1: \beta_1 < 1 \text{ em } Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + U_t$$

De fato, todas as séries em questão apresentaram tendência estocástica. No caso do volume de crédito, a série só é estacionária em terceira diferença, ao contrário das demais que são auto-regressivas de primeira ordem.

Porém, o fato das séries serem não estacionárias não implica que o erro resultante do modelo de regressão também o seja. Na realidade, é possível que o erro seja estacionário. Neste caso, diz-se que as séries são cointegradas. Isso implica que exista uma relação de equilíbrio a longo prazo entre as variáveis, e o erro representa um desvio de curto prazo. Se as variáveis forem de fato cointegradas, a estimação por mínimos quadrados da função de demanda dá estimativas consistentes para β_1 e β_2 .

Uma forma de testar a cointegração entre as variáveis é estimando o modelo de demanda por automóveis por mínimos quadrados e testar se o erro tem raiz unitária:

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \theta_1 \varepsilon_{t-1} + v_t \\ \Delta \varepsilon_t &= \varepsilon_t - \varepsilon_{t-1} = (\theta_1 - 1) \varepsilon_{t-1} + v_t \\ \Delta \varepsilon_t &= \theta_1^* \varepsilon_{t-1} + v_t\end{aligned}$$

Testa-se $H_0: \theta_1^* = 0$ contra a alternativa $H_1: \theta_1^* < 0$. A rejeição de H_0 implica que as variáveis são cointegradas (CARTER, 1999).

O teorema da representação de Granger afirma que quando duas variáveis Y e X são cointegradas, a relação entre elas pode ser expressa como um mecanismo de correção de erro. Ou seja (BROOKS, 2002):

$$\Delta Y_t = \beta_1 \Delta x_t + \beta_2 (Y_{t-1} - \gamma x_{t-1}) + u_t$$

onde,

$$(Y_{t-1} - \gamma x_{t-1}) = \varepsilon_{t-1}$$

β_2 = velocidade de ajustamento de volta ao equilíbrio, i.e, mede a proporção do erro de equilíbrio do período anterior que é corrigido.

γ = elasticidade de longo prazo

β_1 = elasticidade de curto prazo

De fato, ao nível de significância de 1% não se pode afirmar que a estatística do teste de Durbin-Watson do modelo abaixo é zero (valor crítico de $d = 0$ para o nível de significância de 1% é 0,511) o que indica que as séries possam ser cointegradas. Sendo assim, foi efetuado o teste de cointegração (em anexo) que reforçou o que havia sido descoberto pelo teste de Durbin-Watson. Desta forma, estimam-se os modelos abaixo:

$$\ln(DA) = 18,16 - 2,32 \ln(Y) + 0,84 \ln(VC) - 1,10 \ln(PA) + \varepsilon$$

$$t = (2,138) (-1,575) \quad (-2,454) \quad (4,636)$$

$$R^2 = 0,76 \quad d = 0,875$$

Onde, ε é um processo integrado de ordem zero (passo 6 do teste de cointegração do modelo 1). Pelo teorema da representação de Granger, ter-se-ia:

$$\Delta \ln(DA) = -0,45 \Delta \ln(Y) + 4,28 \Delta \ln(VC) - 0,48 \Delta \ln(PA) - 0,46 [\ln(DA_{t-1})$$

$$t = (-0,33) \quad (-2,398) \quad (-0,2345) \quad (-4,121)$$

$$-18,16 + 2,32 \ln(Y_{t-1}) - 0,84 \ln(VC_{t-1}) + 1,10 \ln(PA_{t-1})] + u$$

$$R^2 = 0,26 \quad d = 1,81$$

Observa-se na equação acima que a demanda por automóveis só seria sensível, no curto prazo, a mudanças nas condições de crédito. Em contrapartida, no longo prazo, a demanda seria menos sensível ao crédito (elasticidade de longo prazo menor que um) e responderia a variações no preço (elasticidade preço de longo prazo maior que um).

Porém, algumas ressalvas devem ser feitas em relação à variável volume de crédito. Dado ao fato de ser uma variável estoque, ela apresenta pouca variabilidade no tempo, o que acarreta um baixo poder explicativo. Na realidade 99% dessa série pode ser explicada por uma tendência (modelo 1.2 em anexo). Além disso, o erro resultante dessa regressão não é estacionário, o que impossibilita classificar a variável volume de crédito como estacionária em tendência.

Sendo assim, para tentar corrigir possíveis problemas resultantes da utilização dessa variável, ela foi substituída pelos juros nominais mensais para a aquisição de veículo por pessoa física. Nesse caso, também foi encontrada uma relação de cointegração. Ou seja:

$$\ln(DA) = -4,85 + 2,52 \ln(Y) - 1,68 \ln(r) + 0,28 \ln(PA) + \varepsilon$$

$$t = (-1,295) (5,044) \quad (-7,046) \quad (0,744)$$

$$R^2 = 0,82 \quad d = 0,90$$

Onde, ε é um processo integrado de ordem zero (passo 6 do teste de cointegração do modelo 1.3). Pelo teorema da representação de Granger, ter-se-ia:

$$\Delta \ln(DA) = -0,68 \Delta \ln(Y) - 2,15 \Delta \ln(r) + 2,11 \Delta \ln(PA) - 0,32 [\ln(DA_{t-1})$$

$$t = (-0,57) \quad (-3,964) \quad (1,126) \quad (-2,974)$$

$$+ 4,85 - 2,52 \ln(Y_{t-1}) + 1,68 \ln(r_{t-1}) - 0,28 \ln(PA_{t-1})] + u$$

$$R^2 = 0,37 \quad d = 2,07$$

Nesse caso, foi obtida uma elevada significância estatística para a renda no longo prazo, ao contrario do modelo anterior. Em contrapartida, a variações na renda no curto prazo não teriam impacto sobre a demanda de automóveis. Outra variável que seria importante na determinação da demanda de longo prazo é a taxa de juros, que também foi a única variável a apresentar significância no curto prazo. O preço, por sua vez, não apresentou relevância no curto nem no longo prazo.

Com relação à taxa de juros, deve-se ter em mente que, para alguns autores, ela pode apresentar um efeito dúbio. De fato, sua elevação pode ter efeitos tanto positivos sobre o consumo, via aumento da renda proveniente da remuneração da poupança e principalmente de títulos pós-fixados, quanto negativos, via aumento do custo de financiamento, e redução do preço dos ativos financeiros como títulos pré-fixados. Em geral, no curto prazo, a elevação da taxa de juros tende a ter um impacto maior sobre o tomador de crédito, em contrapartida, no longo prazo, também atuará o efeito renda. Sendo assim, é condizente o resultado obtido, onde a elasticidade juros de curto prazo é maior, em modulo, que a elasticidade de longo prazo, dado que o efeito renda compensa em parte o efeito preço da elevação da taxa de juros, dado que o sistema financeiro brasileiro ainda opera com títulos pós-fixados e a poupança também sofre reajuste via Taxa Referencial de Juros (TR). Outro aspecto importante observável no modelo é que o efeito renda da taxa de juros não é suficiente para compensar o efeito preço, mesmo no longo prazo, dado o baixo nível de poupança da economia. Em contrapartida, à medida que a economia se desenvolve, é esperado que o nível de poupança aumente, possibilitando assim, uma reversão gradual desse quadro.

Possivelmente, a não significância da elasticidade preço resulta do problema da identificação. Ao realizar o teste de causalidade de Granger, obteve-se que não somente variações no preço antecedem as variações na demanda, i.e., o preço é uma boa variável explicativa para as variações na demanda, como as variações da demanda também são capazes de explicar variações no preço, ou seja, oscilações na demanda também causam no sentido de Granger mudanças nos preços. Sendo assim, ao se realizar a regressão de quantidade de veículos vendidos em função do preço dos veículos, o software econométrico não saberá distinguir a curva de oferta, onde a relação entre preço e quantidade é positiva, da curva de demanda, que relaciona negativamente preço e quantidade. Uma forma de solucionar esse problema é através de equações simultâneas, onde se estima as funções de oferta e demanda simultaneamente. Porém, essa extensão não será tratada nessa monografia.

A elasticidade renda de longo prazo apresentou-se ligeiramente acima das expectativas (em valor absoluto), mas não distante da literatura (a elasticidades obtida foi de 2,52). De fato, espera-se que a elasticidade renda da demanda por automóveis seja positiva, porém é difícil prever antecipadamente sua magnitude, pois esta dependerá do nível e da distribuição da renda. A tabela 5 mostra as elasticidades renda e preço, estimadas por diversos autores.

Tabela 5: Elasticidades da demanda por automóveis

Autor	Elasticidade-Renda	Elasticidade-Preço	Mercado
Modelos com dados agregados			
Chow (1960)	1,4 a 2,0	-0,6 a -1,0	EUA
Hunker (1983)	0,7 a 2,5	nd	EUA
Roos e Von Szelinki (1939)	1,5 a 2,5	-1,5	EUA
Cohen (1956)	2,28	nd	EUA
Atkinson (1950)	2,46	-1,31	EUA
Suits (1958,1961)	4,18	-0,55 e -0,59	EUA
Bordley e McDonald (1993)	1,53 a 3,26	nd	EUA
Hess (1977)	0,26	-1,91	EUA
Baumgarten Jr. (1972)	6,28	-0,55 a -1,87	Brasil
Milone (1973)	2,46 a 2,66	-0,37	Brasil
Coates (1985)	1,74	nd	Brasil
Assis (1993)	1,93	-0,98	Brasil
Vianna (1988)	0,76	-1,63	Brasil
Modelos com dados desagregados			
Levinsohn (1988)	nd	-2,07	EUA
Trandel (1991)	nd	-2,42	EUA
McCarthy (1996)	1,70	-0,87	EUA
Lave e Train (1979)	1,2	-0,8	EUA
Johnson (1978)	1,89	nd	EUA
Mannering e Winston (1985)	0,6 a 2,23	nd	EUA
Train (1986)	1,05	nd	EUA

Fonte: DE NEGRI, 1998, p6

Deve-se ter em mente que para estratos de renda mais baixos, a tendência é que um acréscimo na renda gere um aumento mais que proporcional da demanda por automóveis. Em

contrapartida, para segmentos de renda mais elevados, supõem-se que essa relação seja menor que um. Estudos empíricos comprovam essa expectativa como mostra a tabela 6 elaborada por Castro com dados do Censo Demográfico de 1980:

Tabela 6: Distribuição da frota de veículos e elasticidade da posse de automóveis por faixa de renda

Faixa de renda	Domicílios com autos (%)	Fração da frota na faixa de renda (%)	Elasticidade da posse de autos
Até 2 salários mínimos	3,7	6,0	5,0
2 a 5 salários mínimos	17,6	22,5	1,20
5 a 10 salários mínimos	44,3	29,6	1,22
10 a 20 salários mínimos	73,5	24,6	0,69
maior que 20 salários mínimos	90,1	17,3	0,43

Fonte: CASTRO, 1989

A magnitude das elasticidades renda da posse de automóvel apresenta-se pouco superior à unidade nas faixas de renda intermediárias, de dois a 10 salários mínimos, onde se concentra mais de 50% da frota. Em contrapartida, nas faixas de renda superiores, as menores elasticidades indicam que a variação do da posse de veículos em relação à renda se dá de forma menos atenuada (CASTRO, 1989). Embora o modelo proposto não considere alterações na distribuição da renda, deve-se considerar que:

“Este resultado tem implicações importantes para a projeção da frota de veículos, em função da evolução da renda e sua distribuição, tendo em vista o peso relativo da população nessas faixas de renda” (CASTRO, 1989, p. 105)

Por fim, cabe ressaltar as velocidades de ajustamento obtidas nos dois modelos. Da tabela 7 abaixo, observa-se que no primeiro modelo a velocidade de ajustamento é de 0,46, o que significa que 46% do desequilíbrio, entre as variáveis, no instante t-1, é corrigido no instante t. Analogamente, a velocidade de ajustamento do segundo modelo é de 0,32, ou seja, 32% do distúrbio em t-1 é corrigido no instante t.

Tabela 7: Resultados dos modelos de demanda por automóveis

MODELO/VARIAVEL	CURTO PRAZO				LONGO PRAZO				VELOCIDADE DE AJUSTAMENTO
	Y	VC	r	PA	Y	VC	r	PA	β
MODELO 1	n.s	4,28	n.d	n.s	n.s	0,84	n.d	-1,1	-0,46
MODELO 2	n.s*	n.d	-2,15	n.s	2,52	n.d*	-1,68	n.s	-0,32

*n.s: não significativo ao nível de 10%; *n.d: não definido

Fonte: elaboração própria,

Em suma, dado os resultados do modelo de demanda por automóveis, é possível estimar a evolução da frota de veículos. Aplicando a curva de sucateamento estimada no capítulo anterior a esses resultados, poder-se-ia obter a projeção da frota. Porém, as projeções não fazem parte do escopo deste trabalho.

3.2- Modelo de demanda por combustíveis

A modelagem da demanda por combustíveis (etanol e gasolina) também é feita com base em séries temporais. Sendo assim, deve ser tratada com o mesmo rigor econométrico que o modelo de demanda por automóveis.

A abordagem do modelo se inicia pelo teste de estacionariedade das variáveis preço dos combustíveis, da frota e da venda de combustíveis. Ao observar o gráfico dessas séries constata-se que todas parecem apresentar uma tendência, sugerindo, talvez, uma não-estacionariedade. Sendo assim, passa-se para a análise do correlograma e para o teste de Dickey-Fuller aumentado. Tanto os correlogramas (em anexo) quanto os testes indicam que as séries são estacionárias em primeira diferença.

Porém, mais uma vez, o teste de cointegração indica que as séries são cointegradas, i.e, o resíduo resultante da regressão do consumo de combustíveis em função do preço e da frota é estacionário. Ou seja,

$$\ln(DC) = 3,987 + 0,6477 \ln(FR) - 0,2626 \ln(PC) + \varepsilon$$

$$t = (4,689) \quad (12,62) \quad (-1,571)$$

$$R^2 = 0,89 \quad d = 2,13$$

Onde, ε é um processo integrado de ordem zero (passo 5 do teste de cointegração do modelo 2). Desta forma, pelo teorema da representação de Granger, ter-se-ia:

$$\Delta \ln(DC) = -0,05 + 6,66 \Delta \ln(FR) + 0,53 \Delta \ln(PC) - 1,16 [\ln(DC_{t-1}) - 3,98$$

$$t = (-2,33) \quad (2,63) \quad (1,23) \quad (-11,26)$$

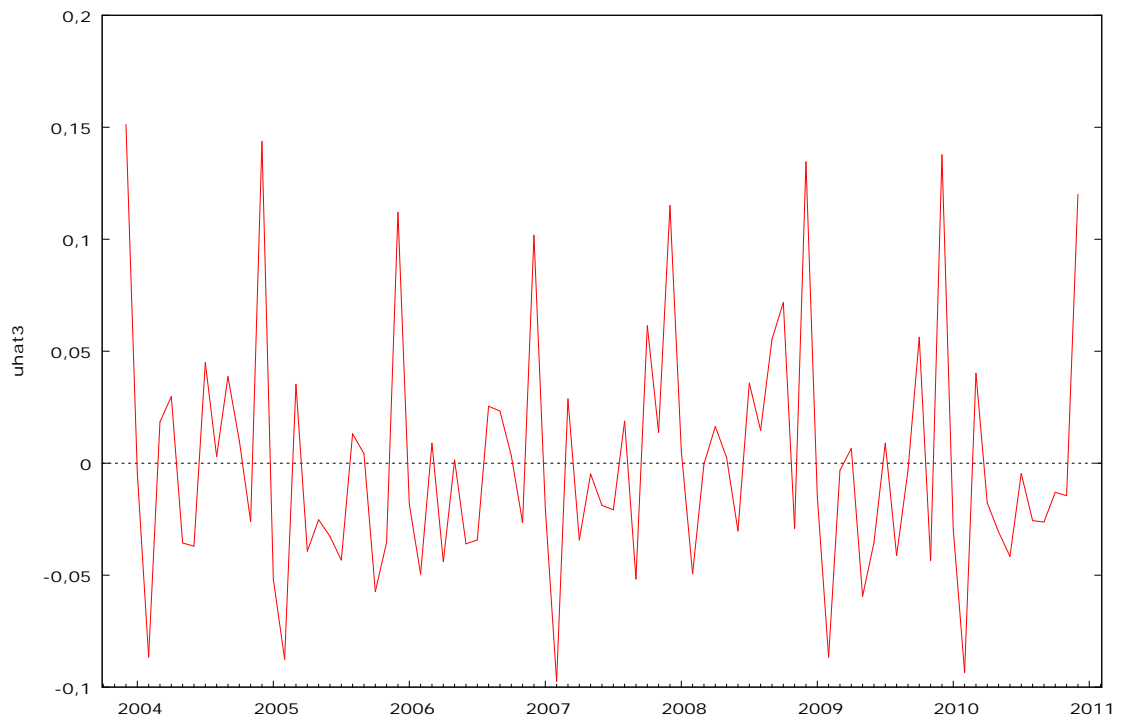
$$-0,65 \ln(FR_{t-1}) + 0,26 \ln(PC_{t-1})] + u$$

$$R^2 = 0,63 \quad d = 2,11$$

Pode-se interpretar da equação acima que a elasticidade-frota de longo prazo do consumo de combustível é menor do que um (0,65 para ser exato), indicando, no longo prazo uma queda no consumo médio por veículo. Em contrapartida, movimentos da frota no curto prazo, i.e., uma oscilação nas vendas de veículos no curto prazo, gera uma variação na demanda por combustíveis, quase sete vezes maior (a elasticidade frota de custo prazo é de 6,66). Uma elasticidade frota de curto prazo elevada já era esperada, dado que os veículos novos, que entram na frota, apresentam uma rodagem muito superior aos veículos mais antigos. Da mesma forma, constata-se a pouca significância do preço dos combustíveis para explicar variações no consumo, tanto no curto prazo, quanto no longo. Esse fenômeno poderia ser resultado da estabilidade do preço da gasolina dada pelo governo, que inibe as variações do consumo resultantes da variação no preço. Além disso, depois de adquirido o veículo não é razoável supor que o consumidor irá deixar de utilizá-lo em decorrência de variações de curto prazo no preço dos combustíveis. Essa concepção se coloca devido ao elevado custo fixo relacionado à aquisição do automóvel, em comparação com o custo variável decorrente do consumo de combustível.

Porém, ao se observar o gráfico do resíduo de $\Delta \ln(DC)$ no tempo constata-se a existência de uma perturbação sazonal (figura 18). Esse resultado indica que talvez exista uma especificação melhor para modelo que inclua *dummies* sazonais.

Figura 13: Resíduo



O teste para as *dummies* foi feito (modelo 2.1 em anexo) e se constatou a necessidade de incluir *dummies* para os meses de fevereiro, março, setembro, outubro e dezembro (modelo 2.2). Sintetizando, obteve-se:

$$\ln(DC) = 4,46 - 0,06dm2 + 0,03dm3 + 0,02dm9 + 0,04dm10 + 0,14dm12$$

$$t = (10,59) \quad (-5,69) \quad (3,14) \quad (1,98) \quad (3,25) \quad (13,88)$$

$$+ 0,62 \ln(FR) - 0,35 \ln(PC) + \varepsilon$$

$$t = (24,25) \quad (-4,21)$$

$$R^2 = 0,97 \quad d = 2,09$$

onde,

dmt = *dummie* do mês t

A figura 24 em anexo apresenta o gráfico do resíduo do modelo acima, e de fato, agora não se observa mais a sua sazonalidade.

Embora o uso de *dummies* tenha dado maior robustez ao modelo, ele inviabiliza o cálculo das elasticidades de curto prazo via mecanismo de correção de erro (modelo de correção de erro). Essa observação é comprovada pelo elevado valor do teste de Durbin-Watson do modelo (2.3 em anexo), e pelo retorno da sazonalidade a variação do erro da regressão como é ilustrado na figura 25 (em anexo).

Sendo assim, tem-se unicamente o modelo de longo prazo onde o mês de fevereiro costuma apresentar um consumo significativamente menor que o do mês de janeiro e os meses de setembro, outubro e dezembro que costumam apresentar um consumo significativamente superior ao do mês de janeiro. Com relação às elasticidades, obteve-se tanto a elasticidade frota quanto a elasticidade preço significativas. A elasticidade frota obtida é de 0,62, próximo ao resultado do modelo anterior e a elasticidade preço, por sua vez, é de -0,35 e condiz com o esperado.

Dado que esse último modelo não permite a utilização do mecanismo de correção de erro, foi estimado um terceiro modelo com o uso de *dummies* no modelo de correção de erro. Ou seja, no equilíbrio, ter-se-ia,

$$\ln(DC) = 3,987 + 0,6477 \ln(FR) - 0,2626 \ln(PC) + \varepsilon$$

$$t = (4,689) \quad (12,62) \quad (-1,571)$$

$$R^2 = 0,89 \quad d = 2,13$$

e no curto prazo,

$$\Delta \ln(DC) = -0,02 + 1,90 \Delta \ln(FR) - 0,01 \Delta \ln(PC) - 0,07 dm2 + 0,12 dm12$$

$$t = (-1,21) \quad (1,22) \quad (-0,05) \quad (-6,16) \quad (10,26)$$

$$-1,11 [\ln(DC_{t-1}) - 3,98 - 0,65 \ln(FR_{t-1}) + 0,26 \ln(PC_{t-1})] + u$$

$$t = (-18,06)$$

$$R^2 = 0,87 \quad d = 1,86$$

Nesse ultimo modelo obteve-se *dummies* significativas para o mês de fevereiro, que em geral apresenta um resultado abaixo da tendência dos outros meses, e para o mês de dezembro, que costuma apresentar um resultado acima do esperado.

Em relação às elasticidades de curto prazo, nem a elasticidade frota nem a elasticidade preço do consumo de combustível apresentaram-se significativas. Em contrapartida, a velocidade de ajustamento do modelo para o equilíbrio, ficou muito próxima do obtido no primeiro modelo.

A tabela 8, abaixo, sintetiza os resultados dos modelos estimados. Observa-se que em nenhum dos modelos obteve-se significância do preço ao nível de 10%. Em contrapartida, no segundo modelo, foi possível obter a elasticidade preço de longo prazo. Embora o primeiro e o terceiro modelos sejam em teoria mais corretos, foi o segundo modelo que apresentou os melhores resultados. De fato, foi o modelo com o melhor poder explicativo ($R^2 = 0,97$), e o melhor resultado no teste de autocorrelação dos resíduos ($d = 2,09$). Nele, como mencionado, foi possível obter tanto a elasticidade-frota quanto a elasticidade-preço (de longo prazo). Desta forma, pode-se dizer que o segundo modelo seria o melhor para prever a tendência do consumo de combustíveis no Brasil.

Tabela 8: Resultados dos modelos de demanda por combustíveis

MODELO/VARIAVEL	CURTO PRAZO		LONGO PRAZO		DUMMIES				
	FR	PC	FR	PC	<i>dm2</i>	<i>dm3</i>	<i>dm9</i>	<i>dm10</i>	<i>dm12</i>
MODELO 1	6,66	n.s	0,65	n.s	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
MODELO 2	n.d.	n.d	0,62	-0,35	-0,06	0,03	0,02	0,04	0,14
MODELO 3	n.s.	n.s.	0,65	n.s	-0,07	n.s.	n.s.	n.s.	0,12

3.3- Modelo de substituição entre etanol e gasolina

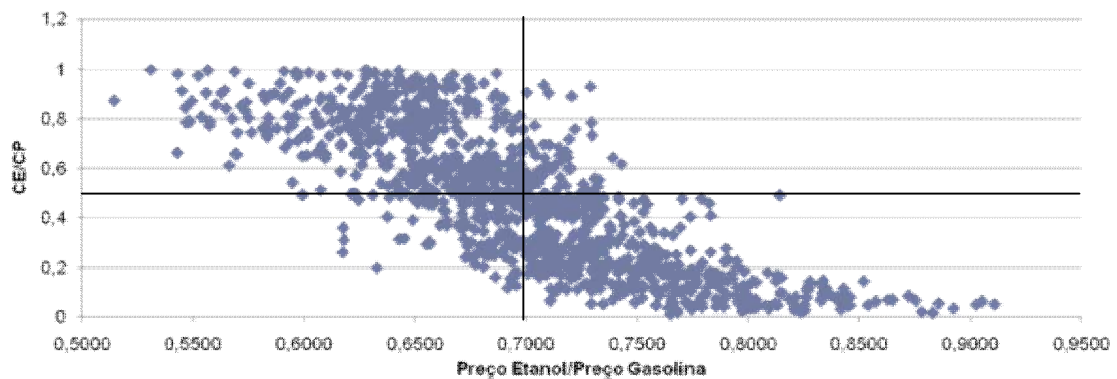
Por fim, tem-se o modelo de substituição entre o etanol e a gasolina. Neste, busca-se distinguir do consumo agregado de combustível, o que é destinado ao consumo de gasolina e o que é destinado ao consumo de etanol.

Como visto no primeiro capítulo, o primeiro passo para modelar a substituição entre os combustíveis é desagregando o consumo por tipo de consumidor. De um lado ter-se-ia os consumidores cativos, seja de etanol, seja de gasolina, e do outro os consumidores flexíveis que podem migrar de um combustível para o outro. O primeiro grupo por hipótese é estável, ou seja, não irá variar de forma significativa seu consumo no curto prazo e tampouco poderá migrar para o consumo do outro combustível. Em contrapartida, os veículos *flex* podem escolher o combustível que se apresentar mais vantajoso a cada instante de tempo.

Desta forma, o objetivo da modelagem é captar o comportamento do consumidor flexível a cada nível de preço. Definindo o consumo potencial de etanol como, consumo de etanol caso toda a frota *flex* consumisse etanol e o consumo efetivo, aquele consumo de etanol que realmente ocorre, pode-se relacionar o consumo com a variação do preço relativo (preço do etanol/preço da gasolina).

Foram utilizados dados estaduais de janeiro de 2006 a dezembro de 2010, a fim de reduzir possíveis distorções causadas por uma frota *flex* pequena. A relação entre a razão consumo efetivo/consumo potencial e o preço relativo (preço do etanol/preço da gasolina) está expressa na figura 19 abaixo.

Figura 14: Razão consumo efetivo e potencial de etanol da frota flex (CE/CP) e preço relativo do etanol (PE/PG)



Fonte: LOSEKANN, CASTRO (2011)

Ao se observar a figura 19, constata-se que de fato a relação entre as duas variáveis pode ser expressa na forma logística. Além disso, é notável que a variância da amostra quando o preço relativo é menor que 0,7 é maior do que quando o preço relativo é maior que 0,7. Isso pode significar que o consumidor tem uma maior resistência à aceitação do etanol, i.e., quando seu preço está mais vantajoso que o preço da gasolina, ainda sim existem muitos consumidores que relutam a mudar da gasolina para o etanol. Em contrapartida, quando o preço da gasolina é mais vantajoso que o preço do etanol, a previsão do comportamento do consumidor é mais eficiente.

Desta forma, pode-se dizer que o limiar a ser superado pelo consumidor é maior na escolha do etanol do que para a gasolina. Guiando-se pela idéia de Vedenov, Duffield e Wetzstein (2006), de que a volatilidade do preço da gasolina, nos Estados Unidos, traria

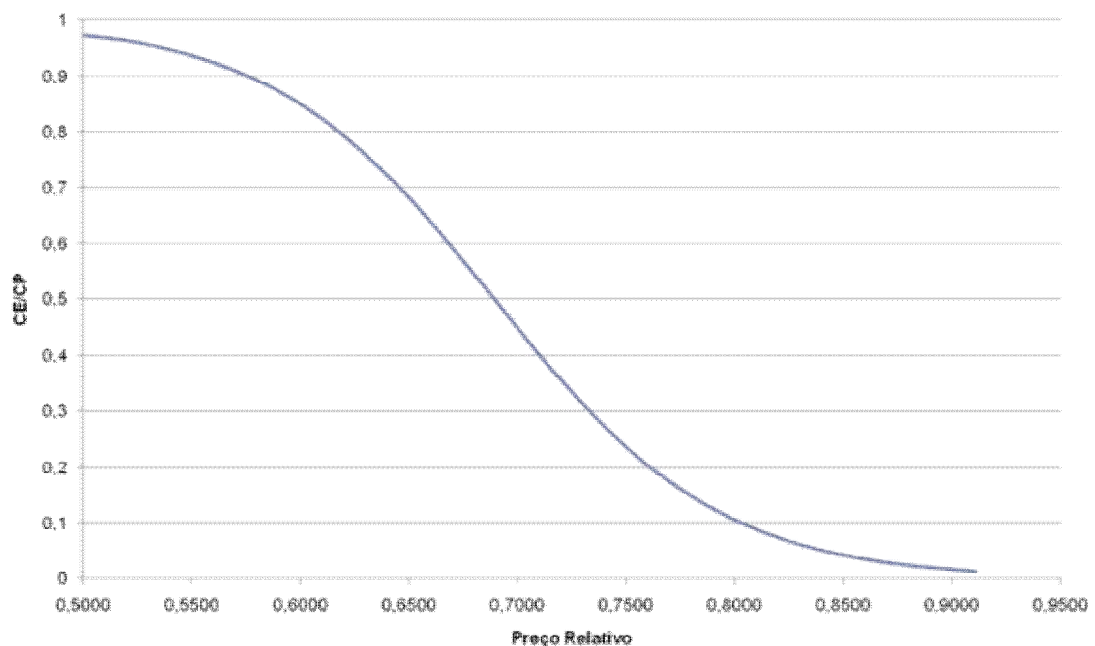
desvantagens ao uso desse combustível, pode-se dizer que no caso brasileiro é o inverso que ocorre. Aqui se tem o preço da gasolina estável por opção do Governo Federal e o preço do etanol altamente volátil em função das safras, o que acarreta certas ineficiências dado o limiar das preferências do consumidor.

Utilizando a ferramenta do solver do Excel foi estimada uma relação logística entre a razão consumo efetivo/consumo potencial e o preço relativo (preço do etanol/preço da gasolina). Obteve-se o seguinte resultado:

$$CE/CP = 1 / (1 + \exp(-13,35 + 19,37 \cdot PE/PG))$$

A figura 20 expressa a relação estimada.

Figura 15: Função logística estimada



Fonte: LOSEKANN, CASTRO (2010).

Como esperado, o modelo obtido apresenta uma maior sensibilidade a variações no preço relativo quando esta relação está próxima do nível de equivalência (0,7). Em contrapartida, à medida que um o preço de um dos combustíveis se torna significativamente mais vantajoso, mudanças marginais na relação de preço terão um impacto pequeno na razão entre consumo efetivo/consumo potencial.

Tendo em vista a teoria do consumidor apresentada no primeiro capítulo, constata-se que, para muitos consumidores, o etanol e a gasolina não podem ser considerados como substitutos perfeitos. Aparentemente os consumidores não apresentam preferências lineares para o etanol e a gasolina, i.e., a taxa marginal de substituição entre o etanol e a gasolina não é constante.

Sendo assim, dado a hipótese de que os consumidores são racionais não se pode afirmar que os dois produtos são equivalentes. De fato, alguns consumidores poderão optar por abastecer seus carros com etanol caso tenham uma preferência por combustíveis menos poluentes, dado que o etanol é capaz de emitir quase 80% menos dióxido de carbono do que a gasolina. Em contrapartida, alguns consumidores poderão optar por gasolina caso considerem a autonomia do veículo um fator importante, já que a gasolina proporciona uma autonomia 42% maior que o etanol.

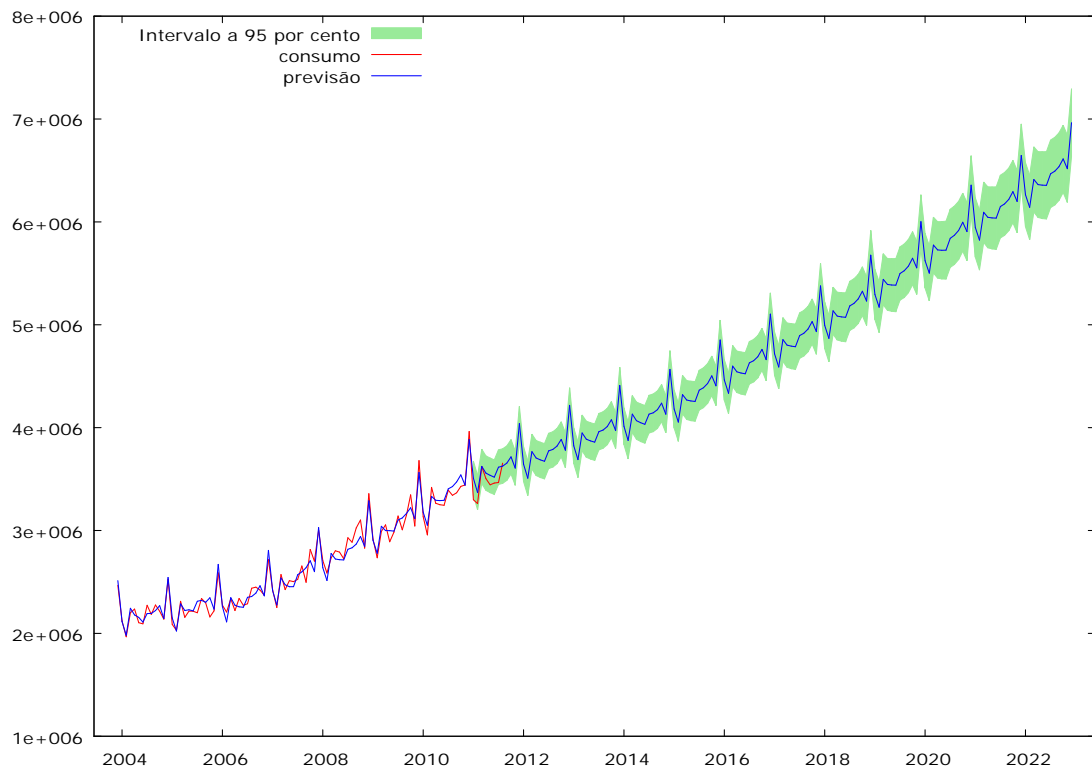
3.4- Projeções da demanda por combustíveis

A partir da função logística apresentada anteriormente e das estimativas do consumo total de combustíveis é possível prever o consumo de gasolina e etanol a partir de cenários de preços. Como ilustração, pode-se considerar dois cenários para a média brasileira de preços relativos (0,80 média de 2011, 0,70 média dos últimos cinco anos) e estima-se a evolução do consumo mensal de etanol e gasolina até 2022 para um cenário de crescimento do PIB de 4,5%.

Primeiramente, é necessário estimar a frota para em seguida estimar o consumo total de combustível. A evolução das vendas de veículos e por consequência, da frota, foi estimada pelo modelo 1 (LOSEKANN, VILELA (2010)). De acordo com as estimativas feitas ela irá dobrar até 2022 e embora o consumo médio por veículo venha a cair, esse crescimento irá gerar um deslocamento significativo da demanda por combustíveis.

A figura 16 apresenta o gráfico do consumo de combustível observado e o previsto usando o modelo 2. Para prever o comportamento futuro da demanda por combustível foi considerado um cenário de crescimento do PIB de 4,5% ao ano e um cenário de preço real nos combustíveis estável.

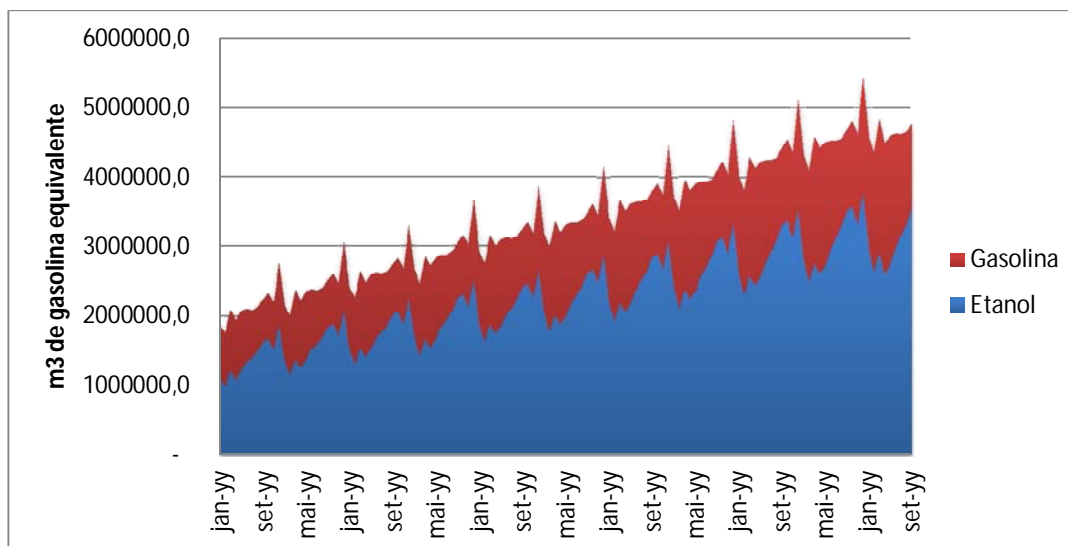
Figure 16: Previsão de demanda por combustíveis (metros cúbicos)



Nesse cenário, ao final de 2022 ter-se-ia um consumo mensal de aproximadamente sete milhões de metros cúbicos de combustível (em gasolina equivalente) com um desvio padrão de aproximadamente 165 mil metros cúbicos.

Dado o consumo total de combustível, passa-se para a desagregação entre etanol e gasolina. Essa discriminação foi feita segundo dois cenários de preço relativo: 0,7 que equivale à média nacional dos últimos cinco anos, e 0,8, média do ano de 2011. Essa substituição vai ocorrer unicamente para os veículos flex, mais dada a sua crescente participação na frota, a volatilidade do consumo de cada combustível tende a crescer com os anos como mostram as figuras abaixo.

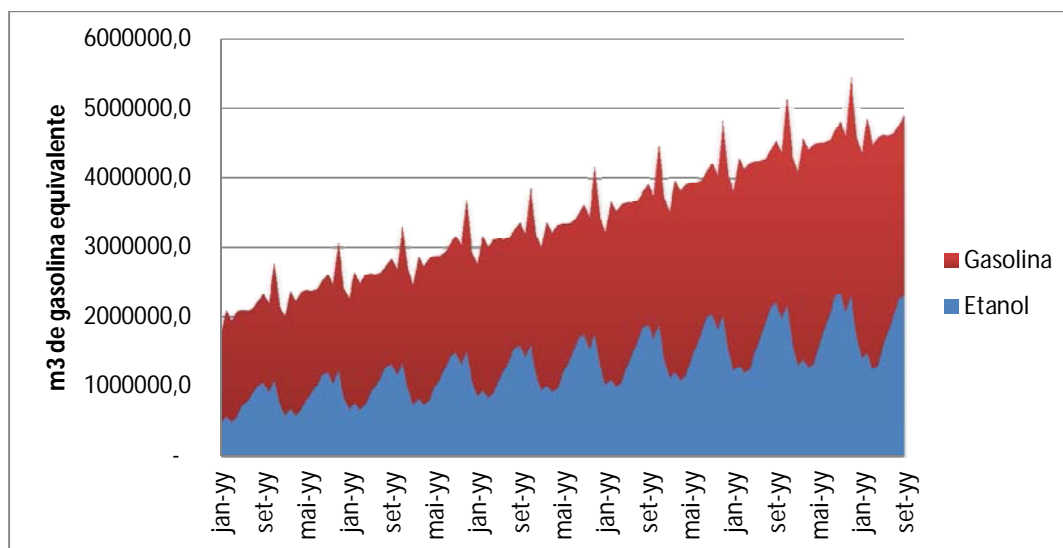
Figure 17: Consumo de etanol e gasolina por parte dos veículos flex (preço relativo 0,7)



É possível observar na figura acima que, com a média do preço relativo por volta de 0,7, o consumo de etanol representará em 2022 aproximadamente 70% do consumo da frota flex. Embora a média do preço relativo esteja sobre o limiar do consumidor, por se tratar de uma média aritmética ela não capta as diferenças de consumo entre os estados. De fato, o Estado que mais pesa no consumo nacional de combustível é o Estado de São Paulo, que possui um dos menores preços do etanol do país.

Por outro lado, à medida que o preço relativo se distancia de 0,7, rapidamente o consumidor substitui o etanol pela gasolina. Na figura 18 observa-se que, com preço relativo em 0,8 o consumo de etanol pela frota flex passa a representar 40% do consumo.

Figure 18: Consumo de etano e gasolina por parte dos veículos flex (preço relativo 0,8)



CONCLUSÃO

Desde a introdução e do desenvolvimento da tecnologia do carro flex no Brasil, a dinâmica do mercado de combustíveis tem mudado. Hoje, os proprietários desses veículos optam pelo combustível que utilizarão conforme a relação de preços com a gasolina. Dada essa nova constituição da frota, o consumo tanto de etanol quanto de gasolina se tornam muito mais elásticos a variações no preço relativo entre os dois combustíveis.

A volatilidade do consumo de etanol e gasolina decorrente de flutuações de preço tem implicações sobre o desenvolvimento da logística dos dois combustíveis. Ou seja, as empresas e autoridades responsáveis devem ser capazes de antecipar as flutuações de demanda para evitar desabastecimento, o que, eventualmente, pode implicar na importação de combustíveis. Como o ajuste de oferta e demanda de etanol se dá via preço, esse desafio é mais relevante para o abastecimento de gasolina, já que sua política de preço busca a estabilidade.

Neste trabalho, buscou-se desenvolver não somente uma ferramenta útil para compreender o comportamento do consumidor, mas que também fosse funcional como instrumento de previsão. Por esse motivo, foram propostos diferentes modelos tendo em vista os diferentes determinantes da demanda por combustíveis.

O primeiro desses modelos é o modelo de demanda por automóveis. Essa modelagem tem como intuito analisar e prever o comportamento da frota, principal ferramenta de consumo de etanol e gasolina no Brasil. Embora o modelo estivesse apoiado na literatura, os resultados obtidos ainda podem ser aprofundados. De fato, a modelagem da demanda por automóveis em geral é feita sem considerar o lado da oferta. Sem a análise simultânea dos fatores que determinam a oferta e a demanda, a inserção de certas variáveis como o preço, que resulta dessa interação, fica comprometida.

O segundo modelo, o de consumo agregado de etanol e gasolina, a priori não considera variações do preço relativo. Ele tem como premissa estudar o consumo de combustível em automóveis independente da escolha entre etanol e gasolina. No que se refere à previsão esse

modelo vai permitir, com base no consumo médio dos veículos, discriminar do consumo total o consumo respectivo da frota *flex*, da frota a etanol e da frota a gasolina. Essa discriminação permite que se estude separadamente o comportamento do consumo de etanol e gasolina da frota *flex* em função das variações do preço relativo.

Com base na teoria do consumidor tentou-se modelar o comportamento dos agentes de forma agregada, na expectativa de que suas escolhas fossem tomadas unicamente em função da relação de preço entre o etanol e a gasolina. Embora o resultado da modelagem da substituição entre o etanol e a gasolina tenha mostrado que o consumidor é sensível a mudanças no preço relativo, ficou claro que os dois combustíveis não são substitutos perfeitos. Constatou-se uma maior resistência a aceitação do etanol mesmo seu preço sendo mais favorável. Essa aparente relutância do consumidor provavelmente resulta da maior volatilidade do preço desse combustível.

Contudo, algumas questões qualitativas ainda ficam em aberto. Qual seria o impacto no consumo desses combustíveis da inserção dos carros híbridos e elétricos? Qual o impacto do crescimento da frota de motocicletas sobre o consumo de etanol e gasolina? Atualmente, vemos no mercado internacional de automóveis, principalmente na Europa, no Japão e nos EUA, um crescimento significativo das vendas de veículos híbridos e elétricos. Mesmo com uma oferta ainda limitada e com custos de fabricação acima dos automóveis convencionais, esses veículos têm conseguido se destacar, como no caso do Prius da Toyota, que em 2010 atingiu a marca de dois milhões de unidades vendidas. No Brasil, o governo ainda está definindo o novo regime automotivo e estuda meios para incentivar as vendas e o desenvolvimento da tecnologia de veículos híbridos e elétricos no país.

Em contrapartida, a motocicleta atualmente é uma realidade no mercado nacional. As vendas de motos no país triplicaram nos últimos dez anos e atingiram, em 2011, a marca de dois milhões de unidades vendidas no ano. Devido ao seu baixo custo, as vendas têm crescido principalmente nos segmentos de menor renda. Os moradores do interior têm substituído o transporte animal pela moto, reforçando a idéia da moto com veículo popular. Essa nova realidade do transporte individual tem implicações no consumo dos combustíveis, principalmente para a gasolina, dado que hoje ainda só há um modelo de moto flexfuel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. *Dados estatísticos de preço e venda de combustíveis*. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural, e B combustíveis (ANP), dados disponíveis em: www.anp.gov.br, acesso em dezembro de 2010.

BROOKS, C. *Introductory econometrics for finance*. New York: Cambridge University Press, 2002.

CARTER, R. H., GRIFFITHS, W. E., JUDGE, G. G. *Econometria*. São Paulo: Saraiva, 1999.

CASTRO, N. R. DE. *Demanda derivada de energia no transporte de passageiros*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1989.

CAVALCANTI, M. C. B. *Tributação relativa etanol-gasolina no Brasil: competitividade dos combustíveis, arrecadação dos estados e internalização dos custos de carbono*. Tese de doutorado, PPE/COPPE/UFRJ, Brasil, 2011.

COSTA, C. C., GUILHOTO, J. M. *Influência do ICMS do etanol na economia do Brasil*. UFRN, 2009, disponível em: www.cchla.ufrn.br, acesso em dezembro de 2011.

DE NEGRI, J. A. *Elasticidade-renda e elasticidade-preço da demanda de automóveis no Brasil*. Texto para discussão nº558. Brasília: IPEA, 1998.

GUJARATI, D. *Econometria básica*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

LOSEKANN, L., CASTRO, G. R. de. *Modelo de previsão de demanda por combustíveis no Brasil*. Em: Anais do 6º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Florianópolis, 2011.

LOSEKANN, L., T. VILELA. *Estimação da frota brasileira de automóveis flex e a nova dinâmica do consumo de etanol no Brasil a partir de 2003*. Infopetro. Rio Oil and Gas 2010.

MATTOS, J. A. BASTOS E CORREIA, E. LUIZ. *Uma nova estimativa da frota de veículos automotivos no Brasil*. Em: Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia, 1996, p. 1267.

PINDYCK, R. S., RUBINFELD, D. L. *Microeconomia*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

QUEIROZ, H. PINTO. JUNIOR. [et al.]. *Economia daa energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

SAMUELSON, P. A.. *Spatial Price Equilibrium and Linear Programming*, The American Economic Review 42, 1952: 283-303.

SNYDER, C., NICHOLSON, W. *Fundamentals of microeconomics*. EUA: Tomson, 2008.

VARIAN, H. R. *Microeconomia: conceitos básicos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

VEDENOV, D., DUFFIELD, J., WETZTEÏN, M. *Entry of Alternative Fuels in a Volatile U.S. Gasoline Market*. Journal of Agricultural and Resource Economics, 2006, Vol. 31, No. 1.

ANEXO

Teste de cointegração: modelo1 de demanda por automóveis

Passo 1: teste para uma raiz unitária em l_DA

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_v1
incluindo 1 defasagem de (1-L)l_v1
dimensão de amostragem 69
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: -0,006
valor estimado de $(a - 1)$: -0,104221
estatística de teste: $\tau_{c(1)} = -1,79974$
p-valor assintótico 0,3811

Passo 2: teste para uma raiz unitária em l_Y

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_Y
incluindo 1 defasagem de (1-L)l_v2
dimensão de amostragem 69
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: -0,013
valor estimado de $(a - 1)$: -0,0109263
estatística de teste: $\tau_{c(1)} = -0,435695$
p-valor assintótico 0,9008

Passo 3: teste para uma raiz unitária em l_PA

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_v4
incluindo 1 defasagem de (1-L)l_v4
dimensão de amostragem 69
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: -0,046
valor estimado de $(a - 1)$: 0,00275339
estatística de teste: $\tau_{c(1)} = 0,231893$
p-valor assintótico 0,9746

Passo 4: teste para uma raiz unitária em l_VC

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_v5
incluindo 1 defasagem de (1-L)l_v5
dimensão de amostragem 69
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: -0,056
valor estimado de $(a - 1)$: -0,0104683
estatística de teste: $\tau_{c(1)} = -3,69074$
p-valor assintótico 0,004267

Passo 5: regressão de cointegração

Regressão de cointegração -
MQO, usando as observações 2004:01-2009:11 (T = 71)
Variável dependente: l_DA

coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
-------------	-------------	---------	---------

const	18,1604	8,49391	2,138	0,0362	**
l_Y	-2,30865	1,46606	-1,575	0,1200	
l_PA	-1,10383	0,449756	-2,454	0,0167	**
l_VC	0,847698	0,182853	4,636	1,69e-05	***
Média var. dependente	11,88745	D.P. var. dependente	0,289138		
Soma resíd. quadrados	1,417540	E.P. da regressão	0,145456		
R-quadrado	0,757770	R-quadrado ajustado	0,746924		
Log da verossimilhança	38,19373	Critério de Akaike	-68,38747		
Critério de Schwarz	-59,33675	Critério Hannan-Quinn	-64,78828		
rô	0,562572	Durbin-Watson	0,874900		

Passo 6: teste para uma raiz unitária em uhat

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para uhat
incluindo 1 defasagem de (1-L)uhat
dimensão de amostragem 69
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: 0,006
valor estimado de $(a - 1)$: -0,507134
estatística de teste: $\tau_{\text{c}}(4) = -4,50128$
p-valor assintótico 0,01576

Existe evidência de uma relação de cointegração se:

- (a) A hipótese de raiz unitária não é rejeitada para as variáveis individuais.
- (b) A hipótese de raiz unitária é rejeitada para os resíduos (uhat) da regressão de cointegração.

Modelo 1: MQO, usando as observações 2004:02-2009:11 (T = 70)

Variável dependente: d_l_DA

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	-0,0631708	0,0362748	-1,7415	0,08634	*
d_l_Y	-0,449341	1,34537	-0,3340	0,73946	
d_l_PA	-0,483786	2,06304	-0,2345	0,81533	
d_l_VC	4,27721	1,78335	2,3984	0,01935	**
uhat1_1	-0,457525	0,111022	-4,1210	0,00011	***

Média var. dependente	0,011523	D.P. var. dependente	0,132519
Soma resíd. quadrados	0,890805	E.P. da regressão	0,117067
R-quadrado	0,264843	R-quadrado ajustado	0,219603
F(4, 65)	5,854129	P-valor(F)	0,000436
Log da verossimilhança	53,41867	Critério de Akaike	-96,83734
Critério de Schwarz	-85,59487	Critério Hannan-Quinn	-92,37169
rô	0,092445	Durbin-Watson	1,808159

Modelo 1.2: MQO, usando as observações 2004:01-2009:11 (T = 71)

Variável dependente: l_vc

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	11,8474	0,0100388	1180,1568	<0,00001	***
time	0,0179981	0,000242339	74,2681	<0,00001	***

Média var. dependente	12,49530	D.P. var. dependente	0,373792
Soma resíd. quadrados	0,120838	E.P. da regressão	0,041848
R-quadrado	0,987645	R-quadrado ajustado	0,987466

F(1, 69)	5515,751	P-valor(F)	1,42e-67
Log da verossimilhança	125,6028	Critério de Akaike	-247,2056
Critério de Schwarz	-242,6802	Critério Hannan-Quinn	-245,4060
rô	0,999872	Durbin-Watson	0,042221

Teste de cointegração: modelo 1.3 de demanda por automóveis

Passo 1: teste para uma raiz unitária em l_DA

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_v1
incluindo 12 defasagens de $(1-L)l_v1$
dimensão de amostragem 58
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: 0,109
diferenças defasadas: $F(12, 44) = 2,165 [0,0314]$
valor estimado de $(a - 1)$: -0,0361557
estatística de teste: $\tau_c(1) = -0,528583$
p-valor assintótico 0,8833

Passo 2: teste para uma raiz unitária em l_Y

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_v2
incluindo 12 defasagens de $(1-L)l_v2$
dimensão de amostragem 58
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: -0,020
diferenças defasadas: $F(12, 44) = 1,247 [0,2836]$
valor estimado de $(a - 1)$: -0,0120513
estatística de teste: $\tau_c(1) = -0,395071$
p-valor assintótico 0,9078

Passo 3: teste para uma raiz unitária em l_PA

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_v4
incluindo 12 defasagens de $(1-L)l_v4$
dimensão de amostragem 58
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: -0,017
diferenças defasadas: $F(12, 44) = 2,315 [0,0215]$
valor estimado de $(a - 1)$: -0,00507213
estatística de teste: $\tau_c(1) = -0,148378$
p-valor assintótico 0,9424

Passo 4: teste para uma raiz unitária em l_PI

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_v3
incluindo 12 defasagens de $(1-L)l_v3$
dimensão de amostragem 58
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: 0,033
diferenças defasadas: $F(12, 44) = 1,465 [0,1742]$
valor estimado de $(a - 1)$: -0,0602189
estatística de teste: $\tau_c(1) = -1,02503$
p-valor assintótico 0,7465

Passo 5: regressão de cointegração

Regressão de cointegração -
MQO, usando as observações 2004:01-2009:11 (T = 71)
Variável dependente: l_DA

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	-4,85544	3,75002	-1,295	0,1998
l_Y	2,52940	0,501470	5,044	3,71e-06 ***
l_PA	0,275415	0,369779	0,7448	0,4590
l_r	-1,68109	0,238599	-7,046	1,25e-09 ***
Média var. dependente	11,88745	D.P. var. dependente	0,289138	
Soma resíd. quadrados	1,075440	E.P. da regressão	0,126694	
R-quadrado	0,816229	R-quadrado ajustado	0,808000	
Log da verossimilhança	47,99860	Critério de Akaike	-87,99720	
Critério de Schwarz	-78,94648	Critério Hannan-Quinn	-84,39802	
rô	0,547284	Durbin-Watson	0,903184	

Passo 6: teste para uma raiz unitária em uhat

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para uhat
incluindo 12 defasagens de (1-L)uhat
dimensão de amostragem 58
hipótese nula de raiz unitária: a = 1

modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
coeficiente de 1ª ordem para e: 0,070
diferenças defasadas: $F(12, 45) = 2,239$ [0,0256]
valor estimado de $(a - 1)$: -0,557939
estatística de teste: $\tau_c(4) = -2,72961$
p-valor assintótico 0,5564

Existe evidência de uma relação de cointegração se:
(a) A hipótese de raiz unitária não é rejeitada para as variáveis individuais.
(b) A hipótese de raiz unitária é rejeitada para os resíduos (uhat) da regressão de cointegração.

Modelo 1.3: MQO, usando as observações 2004:02-2009:11 (T = 70)
Variável dependente: d_l_DA

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>
const	0,00378738	0,0131967	0,2870	0,77503
d_l_Y	0,0980634	1,13627	0,0863	0,93149
d_l_r	-2,04497	0,518632	-3,9430	0,00020 ***
d_l_PA	0,375288	1,65952	0,2261	0,82180
Uhat2_l	-0,423832	0,107989	-3,9248	0,00021 ***
Média var. dependente	0,011523	D.P. var. dependente	0,132519	
Soma resíd. quadrados	0,703699	E.P. da regressão	0,104049	
R-quadrado	0,419257	R-quadrado ajustado	0,383519	
F(4, 65)	11,73139	P-valor(F)	3,12e-07	
Log da verossimilhança	61,67081	Critério de Akaike	-113,3416	
Critério de Schwarz	-102,0991	Critério Hannan-Quinn	-108,8760	
rô	0,001316	Durbin-Watson	1,963749	

Modelo de consumo de combustíveis

Figura 16: Correlograma venda de combustíveis

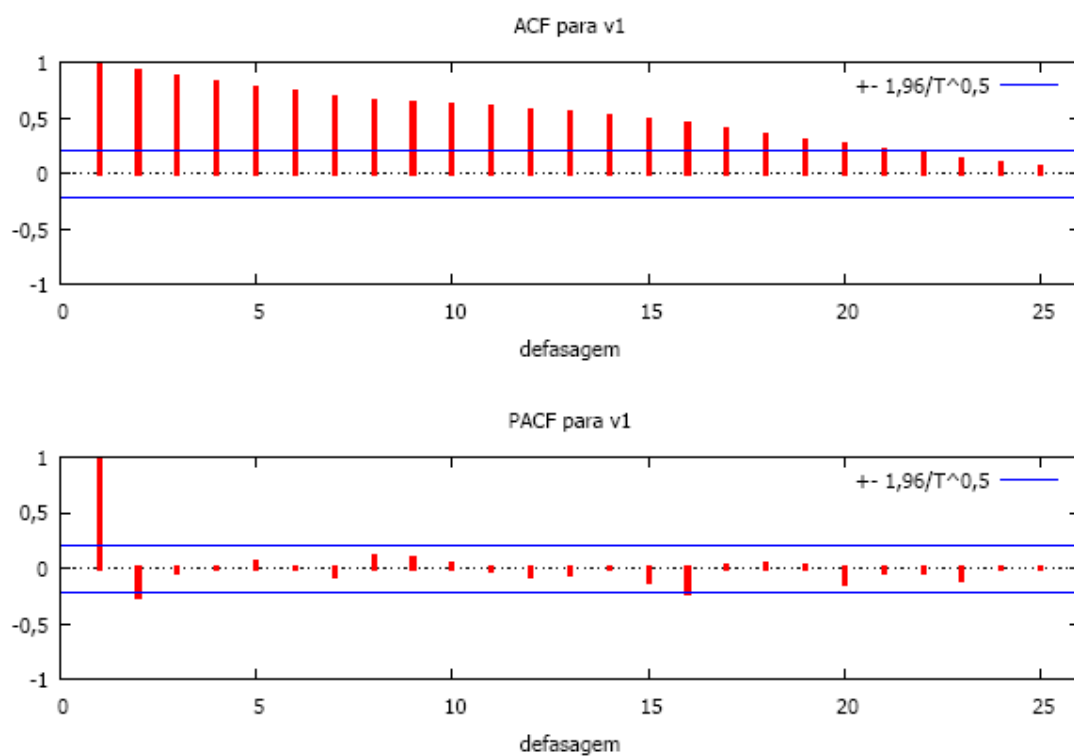


Figura 20: Correlograma da frota

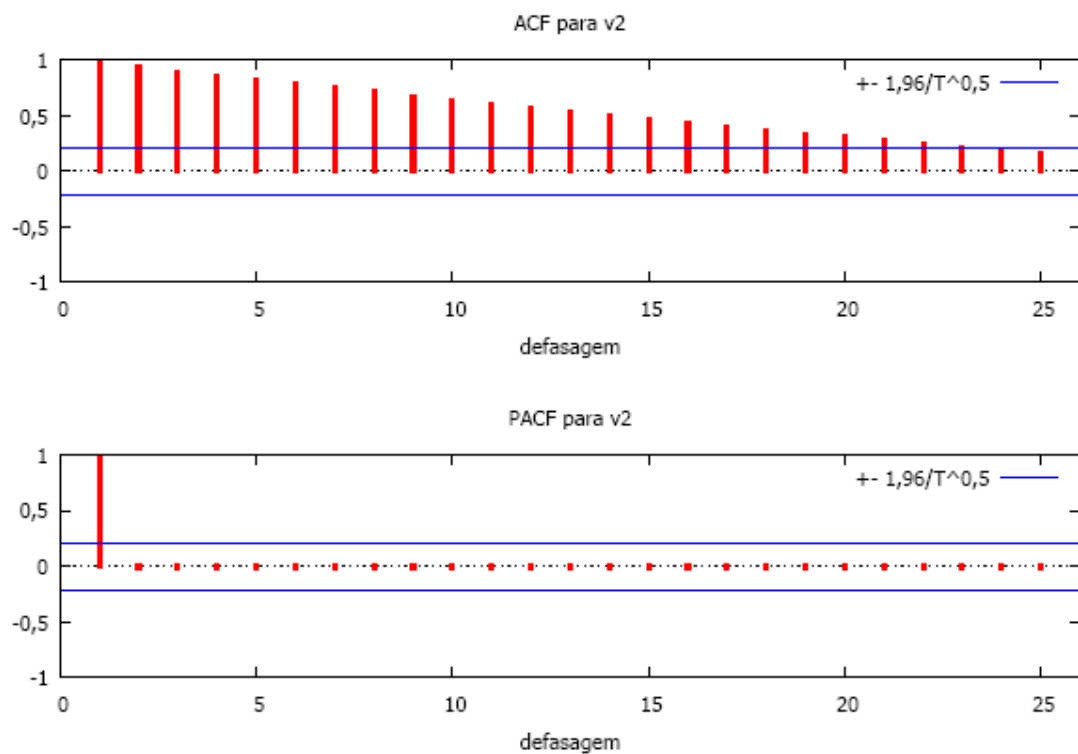
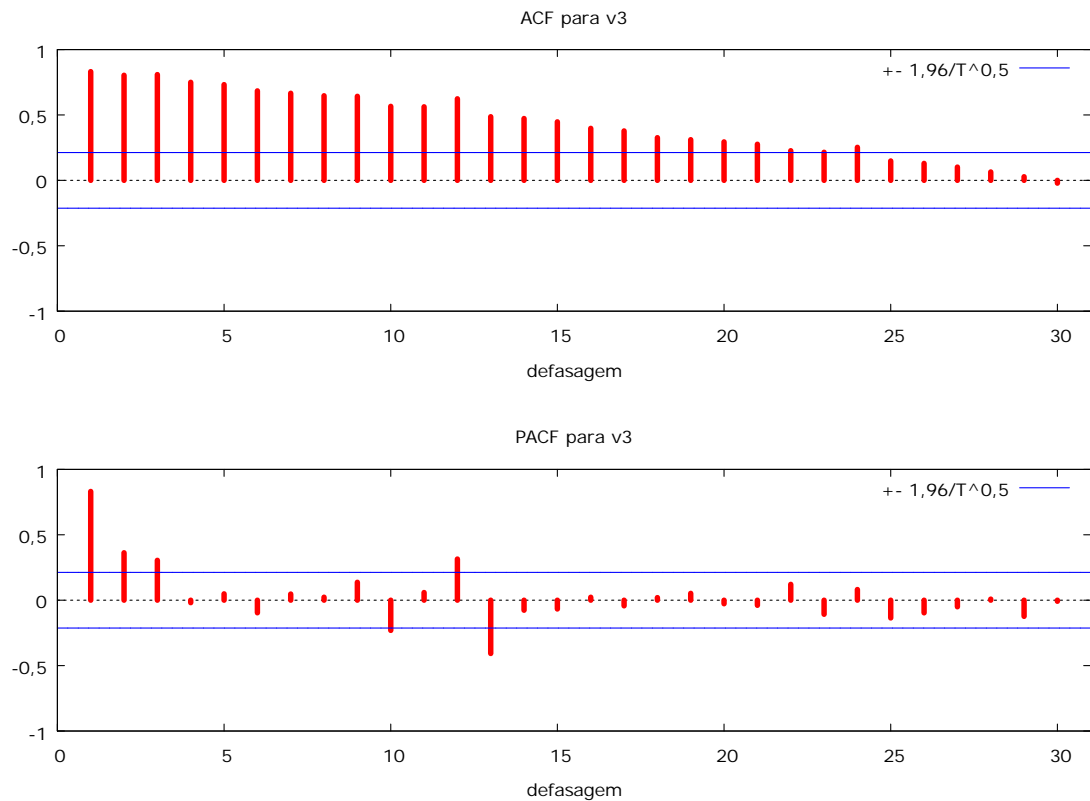


Figura 21: Correlograma preço dos combustíveis



Teste de cointegração para o modelo de demanda por combustíveis

Passo 1: teste para uma raiz unitária em l_{v3}

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_{v3}
 incluindo 1 defasagem de $(1-L)l_{v3}$
 dimensão de amostragem 83
 hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
 modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
 coeficiente de 1ª ordem para e: -0,303
 valor estimado de $(a - 1)$: -0,0296686
 estatística de teste: $\tau_{c(1)} = -0,588789$
 p-valor assintótico 0,8708

Passo 2: teste para uma raiz unitária em l_{v1}

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_{v1}
 incluindo 1 defasagem de $(1-L)l_{v1}$
 dimensão de amostragem 83
 hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
 modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
 coeficiente de 1ª ordem para e: 0,031
 valor estimado de $(a - 1)$: -0,018436
 estatística de teste: $\tau_{c(1)} = -0,933852$
 p-valor assintótico 0,778

Passo 3: teste para uma raiz unitária em l_{v2}

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para l_{v2}
 incluindo 1 defasagem de $(1-L)l_{v2}$
 dimensão de amostragem 83

hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
 modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
 coeficiente de 1ª ordem para e: 0,030
 valor estimado de $(a - 1)$: 0,00155187
 estatística de teste: $\tau_c(1) = 2,0195$
 p-valor assintótico 0,9999

Passo 4: regressão de cointegração

Regressão de cointegração -
 MQO, usando as observações 2003:12-2010:12 (T = 85)
 Variável dependente: l_v3

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor	
const	3,98691	0,850187	4,689	1,08e-05	***
l_v1	-0,262611	0,167175	-1,571	0,1201	
l_v2	0,647702	0,0513150	12,62	6,48e-021	***
Média var. dependente	14,78173	D.P. var. dependente		0,165394	
Soma resíd. quadrados	0,246694	E.P. da regressão		0,054849	
R-quadrado	0,892641	R-quadrado ajustado		0,890022	
Log da verossimilhança	127,6862	Critério de Akaike		-249,3724	
Critério de Schwarz	-242,0444	Critério Hannan-Quinn		-246,4249	
rô	-0,153471	Durbin-Watson		2,137893	

Passo 5: teste para uma raiz unitária em uhat

Teste Aumentado de Dickey-Fuller, para uhat
 incluindo 1 defasagem de $(1-L)uhat$
 dimensão de amostragem 83
 hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
 coeficiente de 1ª ordem para e: 0,058
 valor estimado de $(a - 1)$: -1,43589
 estatística de teste: $\tau_c(3) = -8,69439$
 p-valor assintótico 4,164e-055

Existe evidência de uma relação de cointegração se:

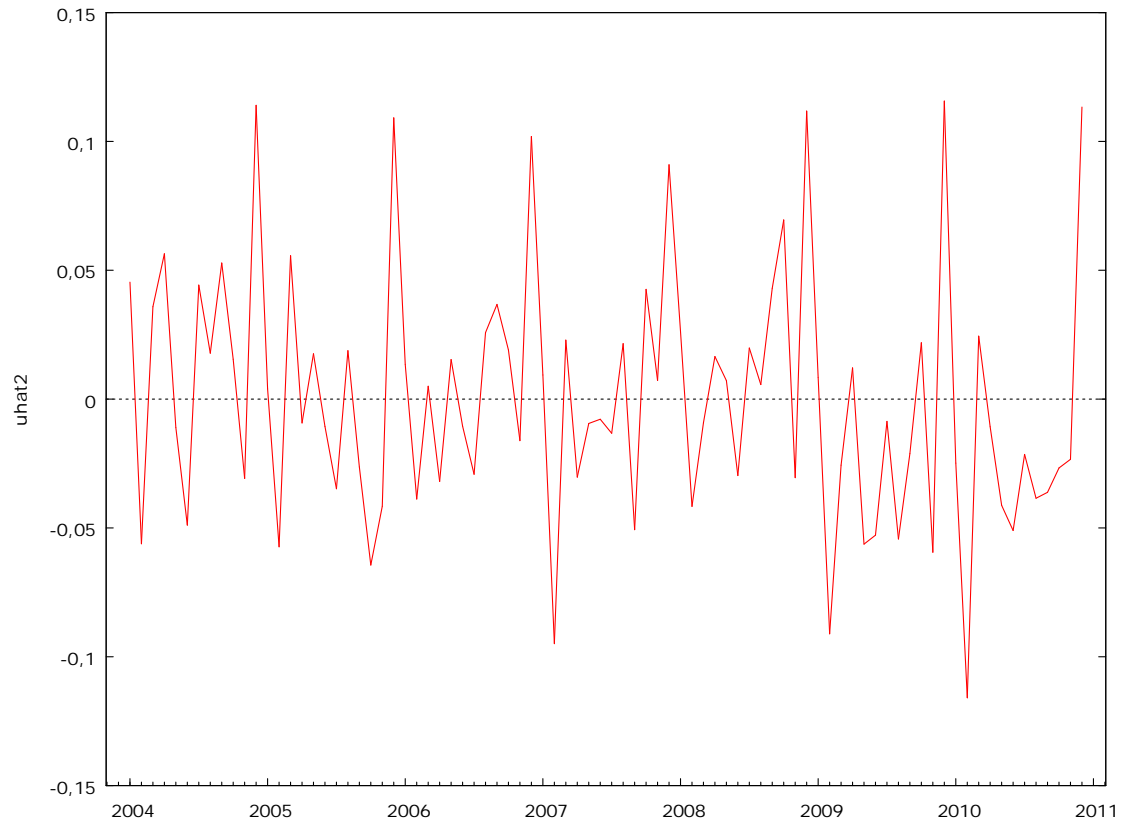
- (a) A hipótese de raiz unitária não é rejeitada para as variáveis individuais.
- (b) A hipótese de raiz unitária é rejeitada para os resíduos (uhat) da regressão de cointegração.

Modelo 1: MQO, usando as observações 2004:01-2010:12 (T = 84)

Variável dependente: d_l_v3

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	-0,0526811	0,0225298	-2,3383	0,02187	**
d_l_v1	0,531212	0,428977	1,2383	0,21922	
d_l_v2	6,6648	2,53494	2,6292	0,01026	**
uhat3_1	-1,16141	0,103128	-11,2618	<0,00001	***
Média var. dependente	0,005640	D.P. var. dependente		0,079839	
Soma resíd. quadrados	0,196106	E.P. da regressão		0,049511	
R-quadrado	0,629332	R-quadrado ajustado		0,615432	
F(3, 80)	45,27548	P-valor(F)		3,31e-17	
Log da verossimilhança	135,3256	Critério de Akaike		-262,6511	
Critério de Schwarz	-252,9279	Critério Hannan-Quinn		-258,7425	
rô	-0,100576	Durbin-Watson		2,111961	

Figure 22: Resíduos



Modelo de teste para sazonalidade do erro do modelo 2: MQO, usando as observações
2004:01-2010:12 (T = 84)
Variável dependente: uhat2

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	0,0117023	0,0111534	1,0492	0,29759	
dm2	-0,0825395	0,0157733	-5,2329	<0,00001	***
dm3	0,00386702	0,0157733	0,2452	0,80703	
dm4	-0,0112999	0,0157733	-0,7164	0,47606	
dm5	-0,0228297	0,0157733	-1,4474	0,15214	
dm6	-0,0418986	0,0157733	-2,6563	0,00972	***
dm7	-0,017882	0,0157733	-1,1337	0,26069	
dm8	-0,0121623	0,0157733	-0,7711	0,44319	
dm9	-0,0119578	0,0157733	-0,7581	0,45086	
dm10	-0,000641555	0,0157733	-0,0407	0,96767	
dm11	-0,0395079	0,0157733	-2,5047	0,01452	**
dm12	0,0964249	0,0157733	6,1132	<0,00001	***
Média var. dependente	0,000000	D.P. var. dependente	0,048608		
Soma resíd. quadrados	0,062697	E.P. da regressão	0,029509		
R-quadrado	0,680291	R-quadrado ajustado	0,631447		
F(11, 72)	13,92771	P-valor(F)	7,43e-14		
Log da verossimilhança	183,2200	Critério de Akaike	-342,4400		

Critério de Schwarz	-313,2702	Critério Hannan-Quinn	-330,7140
rô	0,171229	Durbin-Watson	1,639144

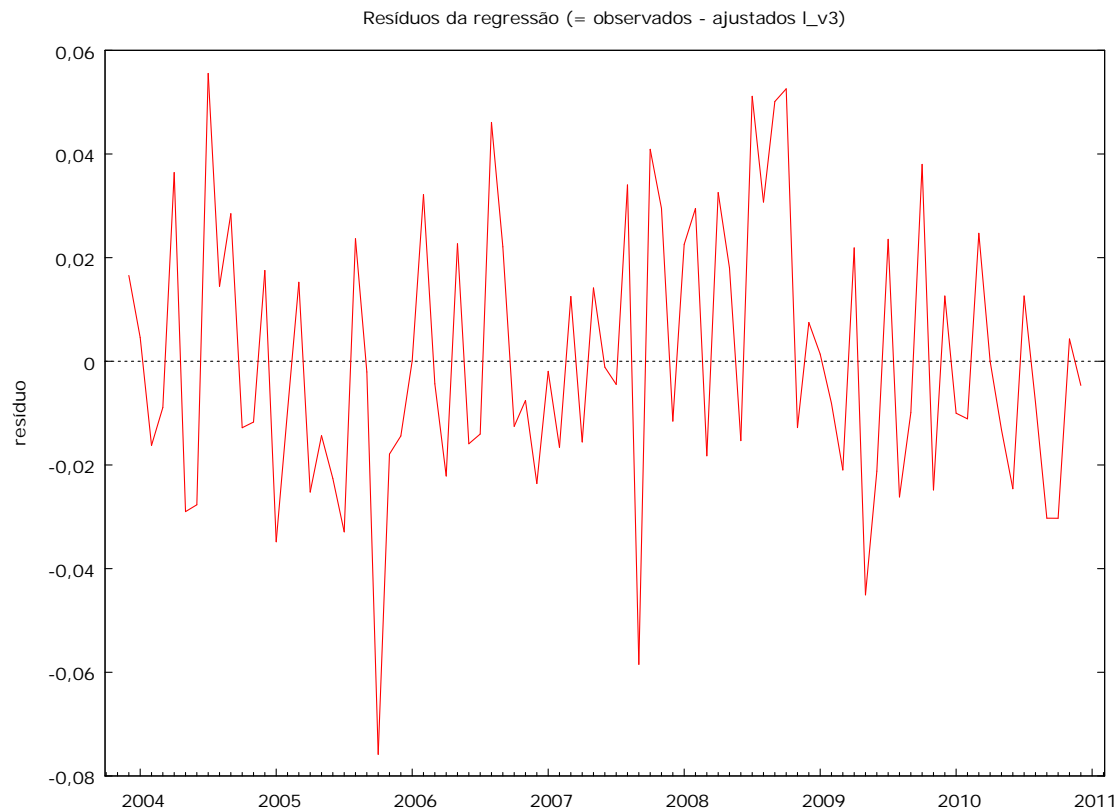
Modelo 2.1: MQO, usando as observações 2003:12-2010:12 (T = 85)
Variável dependente: l_v3

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	4,44708	0,421619	10,5476	<0,00001	***
dm2	-0,0597782	0,0142036	-4,2087	0,00007	***
dm3	0,036945	0,0142117	2,5996	0,01134	**
dm4	0,00664933	0,0142281	0,4673	0,64169	
dm5	-0,0039648	0,0142974	-0,2773	0,78235	
dm6	-0,0156077	0,0143365	-1,0887	0,27998	
dm7	0,0157925	0,0143257	1,1024	0,27402	
dm8	0,0191289	0,0143071	1,3370	0,18549	
dm9	0,0242999	0,014265	1,7035	0,09286	*
dm10	0,0382647	0,0142413	2,6869	0,00898	***
dm11	-0,00323384	0,0142481	-0,2270	0,82110	
dm12	0,146404	0,0137664	10,6349	<0,00001	***
l_v1	-0,343789	0,0833846	-4,1229	0,00010	***
l_v2	0,618801	0,02542	24,3430	<0,00001	***
Média var. dependente	14,78173	D.P. var. dependente	0,165394		
Soma resíd. quadrados	0,050116	E.P. da regressão	0,026568		
R-quadrado	0,978190	R-quadrado ajustado	0,974197		
F(13, 71)	244,9536	P-valor(F)	1,76e-53		
Log da verossimilhança	195,4233	Critério de Akaike	-362,8465		
Critério de Schwarz	-328,6494	Critério Hannan-Quinn	-349,0915		
rô	-0,062623	Durbin-Watson	2,119190		

Modelo 2.2: MQO, usando as observações 2003:12-2010:12 (T = 85)
Variável dependente: l_v3

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	4,4679	0,421637	10,5966	<0,00001	***
dm2	-0,0623871	0,0109637	-5,6903	<0,00001	***
dm3	0,0343146	0,0109428	3,1358	0,00243	***
dm9	0,0216138	0,0109283	1,9778	0,05153	*
dm10	0,0356232	0,0109595	3,2504	0,00171	***
dm12	0,143792	0,0103599	13,8797	<0,00001	***
l_v1	-0,349597	0,0831205	-4,2059	0,00007	***
l_v2	0,6177	0,0254636	24,2581	<0,00001	***
Média var. dependente	14,78173	D.P. var. dependente	0,165394		
Soma resíd. quadrados	0,056265	E.P. da regressão	0,027032		
R-quadrado	0,975514	R-quadrado ajustado	0,973288		
F(7, 77)	438,2390	P-valor(F)	2,74e-59		
Log da verossimilhança	190,5047	Critério de Akaike	-365,0095		
Critério de Schwarz	-345,4683	Critério Hannan-Quinn	-357,1495		
rô	-0,045206	Durbin-Watson	2,085121		

Figura 23: Resíduos modelo 2.2



Teste de Breusch-Godfrey para autocorrelação até a ordem 12
MQO, usando as observações 2003:12-2010:12 (T = 85)
Variável dependente: uhat

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor
const	-47363,5	345422	-0,1371	0,8914
IPAADEF	33449,1	285532	0,1171	0,9071
trotaT	0,000372852	0,00412243	0,09044	0,9282
dm2	8630,85	38993,0	0,2213	0,8256
dm3	12444,8	39332,6	0,3164	0,7528
dm4	8821,81	39324,2	0,2243	0,8233
dm5	9084,87	39409,3	0,2305	0,8185
dm6	9008,29	39673,6	0,2271	0,8212
dm7	9661,19	39748,0	0,2431	0,8088
dm8	11016,9	39505,4	0,2789	0,7813
dm9	8517,84	39158,3	0,2175	0,8286
dm10	4313,37	39016,9	0,1106	0,9123
dm11	7944,37	39233,5	0,2025	0,8402
dm12	8972,30	37858,4	0,2370	0,8135
uhat_1	0,0259364	0,132195	0,1962	0,8451
uhat_2	0,116212	0,133572	0,8700	0,3878
uhat_3	0,339251	0,135548	2,503	0,0151
uhat_4	-0,109735	0,148802	-0,7375	0,4638
uhat_5	0,109146	0,150415	0,7256	0,4709
uhat_6	-0,00914616	0,151932	-0,06020	0,9522
uhat_7	-0,0322278	0,152962	-0,2107	0,8339
uhat_8	-0,0117553	0,152941	-0,07686	0,9390
uhat_9	0,117213	0,151164	0,7754	0,4412
uhat_10	-0,210336	0,148129	-1,420	0,1609
uhat_11	-0,0148675	0,152966	-0,09720	0,9229
uhat_12	0,0955101	0,153158	0,6236	0,5353

R-quadrado não-ajustado = 0,257045

Estatística de teste: LMF = 1,701052,
com p-valor = $P(F(12,59) > 1,70105) = 0,0897$

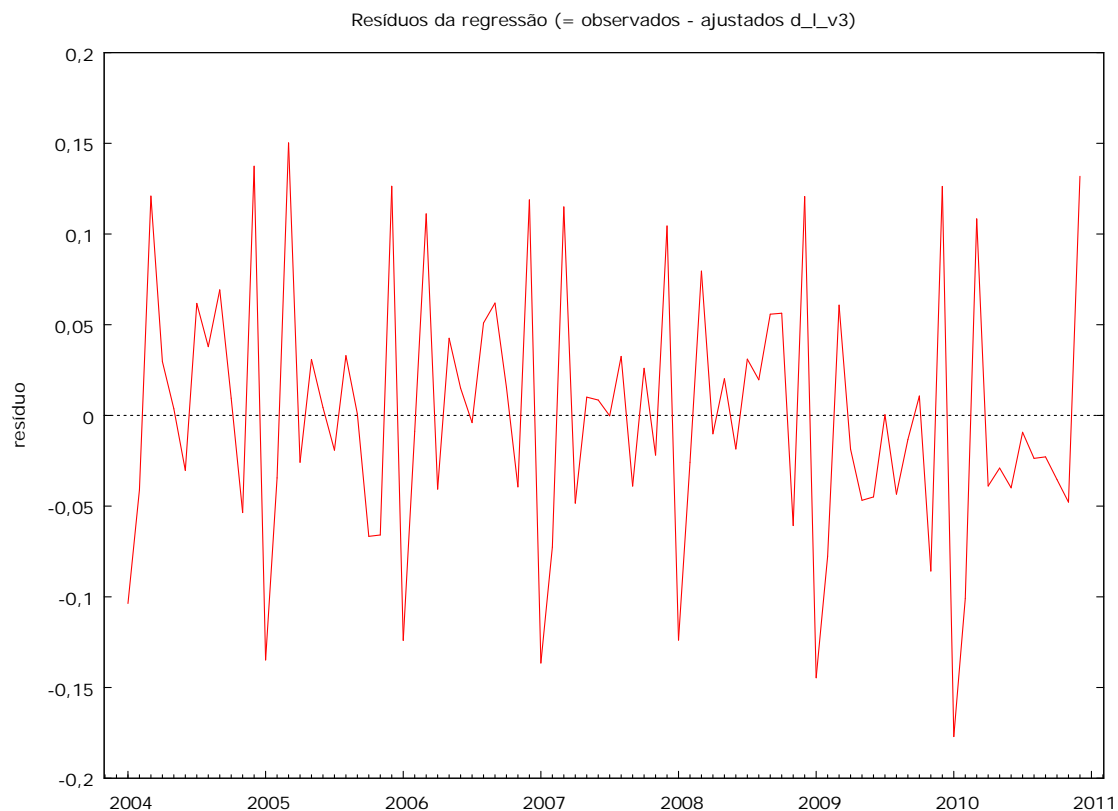
Estatística alternativa: $TR^2 = 21,848833$,
com p-valor = $P(\text{Qui-quadrado}(12) > 21,8488) = 0,0392$

Ljung-Box $Q' = 35,2937$,
com p-valor = $P(\text{Qui-quadrado}(12) > 35,2937) = 0,00042$

Modelo 2.3: MQO, usando as observações 2004:01-2010:12 (T = 84)
Variável dependente: d_l_v3

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	-0,0734342	0,0334619	-2,1946	0,03110	**
d_l_v1	0,309538	0,632838	0,4891	0,62609	
d_l_v2	9,2283	3,76685	2,4499	0,01647	**
uhat9_1	-1,19763	0,31093	-3,8517	0,00024	***
Média var. dependente	0,005640	D.P. var. dependente	0,079839		
Soma resíd. quadrados	0,427692	E.P. da regressão	0,073117		
R-quadrado	0,191604	R-quadrado ajustado	0,161289		
F(3, 80)	6,320465	P-valor(F)	0,000668		
Log da verossimilhança	102,5763	Critério de Akaike	-197,1526		
Critério de Schwarz	-187,4293	Critério Hannan-Quinn	-193,2439		
rô	-0,336312	Durbin-Watson	2,579539		

Figura 24: Resíduos modelo 2.3



Modelo 3.1: MQO, usando as observações 2004:01-2010:12 (T = 84)
Variável dependente: d_l_v3

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	-0,0189411	0,0209214	-0,9053	0,36843	
d_l_v1	-0,258854	0,257799	-1,0041	0,31884	
d_l_v2	1,60253	1,52441	1,0512	0,29681	
uhat3_1	-1,05591	0,120035	-8,7967	<0,00001	***
dm2	-0,0679956	0,0227467	-2,9893	0,00387	***
dm3	0,0254101	0,0286652	0,8864	0,37846	
dm4	0,000580116	0,0195258	0,0297	0,97638	
dm5	-0,0112023	0,0221346	-0,5061	0,61440	
dm6	-0,0234266	0,0231125	-1,0136	0,31432	
dm7	0,00689394	0,0243537	0,2831	0,77797	
dm8	0,0114444	0,021559	0,5308	0,59723	
dm9	0,0158954	0,0215222	0,7386	0,46268	
dm10	0,0291532	0,021277	1,3702	0,17507	
dm11	-0,012365	0,0201279	-0,6143	0,54102	
dm12	0,131534	0,0240252	5,4748	<0,00001	***
Média var. dependente	0,005640	D.P. var. dependente	0,079839		
Soma resíd. quadrados	0,049937	E.P. da regressão	0,026902		
R-quadrado	0,905611	R-quadrado ajustado	0,886460		
F(14, 69)	47,28723	P-valor(F)	1,01e-29		
Log da verossimilhança	192,7769	Critério de Akaike	-355,5537		
Critério de Schwarz	-319,0915	Critério Hannan-Quinn	-340,8962		
rô	-0,009089	Durbin-Watson	2,011413		

Modelo 3.2: MQO, usando as observações 2004:01-2010:12 (T = 84)
Variável dependente: d_l_v3

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>razão-t</i>	<i>p-valor</i>	
const	-0,0166075	0,0136949	-1,2127	0,22891	
d_l_v1	-0,0117365	0,25686	-0,0457	0,96367	
d_l_v2	1,89599	1,54417	1,2278	0,22320	
uhat3_1	-1,11542	0,0617316	-18,0689	<0,00001	***
dm2	-0,0724869	0,0117766	-6,1552	<0,00001	***
dm12	0,123763	0,0120592	10,2629	<0,00001	***
Média var. dependente	0,005640	D.P. var. dependente	0,079839		
Soma resíd. quadrados	0,066488	E.P. da regressão	0,029196		
R-quadrado	0,874329	R-quadrado ajustado	0,866273		
F(5, 78)	108,5333	P-valor(F)	1,17e-33		
Log da verossimilhança	180,7543	Critério de Akaike	-349,5086		
Critério de Schwarz	-334,9237	Critério Hannan-Quinn	-343,6456		
rô	0,063505	Durbin-Watson	1,864013		

Figura 25: Resíduos modelo 3.2

